

Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo de Final de Grado

Realidad Virtual Colaborativa Integrando Cinemática Inversa



Yeray Bosoms Blasco

Director: Alejandro Ríos Jerez
Codirector: Nuria Pelechano Gomez
Especialidad: Computación

Facultad de Informática de Barcelona

13 de octubre de 2019

Declaración

Declaro que este trabajo ha sido realizado por mi, Yeray Bosoms Blasco, y basado en mis propias investigaciones.

Toda la información que no pertenece exclusivamente al autor del proyecto ha sido especificada correctamente en el documento en forma de cita localizada al final del trabajo.

Yeray Bosoms Blasco
13 de octubre de

Resumen

Los avances tecnológicos en dispositivos de realidad virtual en los últimos años han provocado una mejora significativa en la captura y transmisión de movimientos del mundo real al virtual.

Con los dispositivos de hoy en día, acciones como caminar y desplazarse físicamente por el entorno de realidad virtual son posibles sin necesidad de gran equipo ni un laboratorio especializado.

Paralelo a estos avances, el uso de realidad virtual está cada vez más extendido y se emplea de forma colaborativa: múltiples usuarios usando el mismo entorno virtual de forma simultánea interactuando entre ellos.

Uniando estos dos factores, se ha observado que los usuarios no tienen el mismo comportamiento en la realidad virtual que el que tendrían en el mundo real.

Estudios ya realizados muestran que el nivel de detallismo de la representación virtual del usuario (avatar) afecta a su comportamiento en la realidad virtual. Partiendo de esos estudios, este proyecto pretende demostrar la hipótesis de que usar avatares con un nivel de realismo muy elevado tiene un impacto positivo en el comportamiento humano en entornos virtuales, provocando que dicho comportamiento se asemeje más al que se tiene fuera de la realidad virtual.

Para conseguir el mayor nivel de realismo posible, este proyecto aplica cinemática inversa al avatar del usuario para poder imitar a la perfección sus movimientos.

Para probar la hipótesis formulada, este proyecto diseña un experimento a realizar usando avatares con distintos niveles de realismo. Realizando este experimento se estudia el comportamiento humano en realidad virtual colaborativa, centrándose en cómo se desplazan los humanos por el entorno virtual evitando colisionar entre ellos.

Índice

Capítulo 1: Formulación del problema	10
1.1 Introducción	10
1.2 Formulación del problema	11
1.2.1 Objetivos del proyecto	12
Capítulo 2: Contexto y alcance del proyecto	13
2.1 Contexto	13
2.1.1 Definición de términos	13
2.1.2 Dispositivos	14
2.1.3 Actores	16
2.1.3.1 Desarrollador y diseñador	16
2.1.3.2 Director y codirectora	16
2.1.3.3 Participantes del experimento	16
2.1.3.4 Beneficiarios	16
2.2 Alcance	16
2.2.1 Posibles obstáculos	18
2.3 Estado del arte	19
2.4 Metodología	21
2.4.1 Metodología de Trabajo	21
2.4.1.1 Ciclos de desarrollo cortos	21
2.4.1.2 Intensa comunicación con los clientes	21
2.4.2 Herramientas de seguimiento	21
2.4.3 Método de validación	22
Capítulo 3: Planificación temporal	23
3.1 Duración del proyecto	23
3.2 Descripción de las Tareas	23
3.2.1 Familiarización con el entorno de trabajo	23
3.2.1.1 Unity	24
3.2.1.2 SteamVR	24
3.2.1.3 FinalIK	24

3.2.1.4 Photon	25
3.2.2 Implementación	25
3.2.2.1 Diseño y construcción del entorno virtual	25
3.2.2.2 Implementar cinemática inversa	25
3.2.2.3 Añadir soporte para realidad virtual	26
3.2.2.4 Sistema de recopilación de datos	27
3.2.2.4.1 Crear sistema	27
3.2.2.4.2 Visualizador de datos	27
3.2.2.5 Ampliar a realidad virtual colaborativa	28
3.2.2.6 Modos de experimento	28
3.2.3 Fase final	29
3.2.3.1 Revisión final	29
3.2.3.2 Realización de los experimentos	29
3.2.3.3 Redactar la memoria	29
3.3 Estimación Temporal	29
3.4 Diagrama de Gantt	30
3.5 Especificación de recursos	31
3.6 Alternativas y plan de acción	32
3.6.1 Bugs	32
3.6.2 Disponibilidad del laboratorio del CRV	34
3.6.3 Problemas de hardware con los dispositivos de realidad virtual	36
3.6.4 Comprender las librerías que se van a usar	37
2.6.5 Lag	37
Capítulo 4: Gestión económica	39
4.1 Presupuesto del proyecto	39
4.1.1 Costes directos	39
4.1.1.1 Recursos humanos	39
4.1.1.2 Recursos Hardware	40
4.1.1.3 Recursos Software	41
4.1.2 Costes indirectos	42
4.1.3 Costes imprevistos	43
4.1.4 Contingencias	44
4.1.5 Presupuesto total	45
4.2 Control de gestión	46

Capítulo 5: Sostenibilidad	48
5.1 Dimensión medioambiental	48
5.2 Dimensión económica	48
5.3 Dimensión Social	49
Capítulo 6: Descripción de la aplicación	50
6.1 Interfaz de usuario	50
6.2 Experimento	52
6.3 Manejo de datos	53
6.3.1 Recopilación	53
6.3.2 Visualización	53
Capítulo 7: Conclusiones	55
7.1 Personales	55
7.2 Resultados del proyecto	56
Apéndices	57
Apéndice A	
Entorno de realidad virtual	58
A.1 Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle A	59
A.2 Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle B	60
Apéndice B	
Diagrama de Gantt del proyecto	61
B.1 Diagrama de Gantt del proyecto	62
Figura B.1: Diagrama de Gantt del proyecto	62
Apéndice C	
Interfaz de usuario	63
C.1 Inicio	64
C.2 Menú de conexión	65
C.3 Menú de visualización	66
C.4 Configuración del experimento en solitario	66
C.5 Configuración de experimento multijugador master	67
C.6 Configuración de experimento multijugador cliente	68
C.7 Información de controles de cámara	69
C.8 Cámara superior	70
C.9 Cámara derecha	70
C.10 Cámara izquierda	71

C.11 Multicámara	71
Apéndice D	
Menús para participantes	72
D.1 Menú para representación simbólica	73
D.2 Menú de selección de avatar	73
D.3 Menú de calibración de avatar	74
Apéndice E	
Avatares	75
E.1 Representación simbólica en uso	76
E.2 Avatares humanoides	76
E.3 Avatares humanoides en uso	77
Apéndice F	
Datos de experimentos de prueba	78
F.1 Visualización de datos de sesión en solitario	79
F.2 Tabla de datos de sesión en solitario	79
F.3 Visualización de datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados	83
F.4 Tabla de datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados	84
F.5 Visualización de datos de sesión multiusuario con avatares desincronizados	89
F.6 Tabla de datos de sesión multiusuario con avatares desincronizados	89
Referencias	96

Índice de figuras

<u>2.1 HMD</u>	<u>14</u>
<u>2.2 Base Station</u>	<u>15</u>
<u>2.3 Controller</u>	<u>15</u>
<u>2.4 Tracker</u>	<u>15</u>
<u>3.1 Bug</u>	<u>33</u>
<u>3.2 Simulador VIU</u>	<u>35</u>
<u>6.1 Grafo de conexión de menús de interfaz</u>	<u>50</u>
<u>A.1 Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle A</u>	<u>59</u>
<u>A.2 Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle B</u>	<u>60</u>
<u>B.1 Diagrama de Gantt del proyecto</u>	<u>62</u>
<u>C.1 Inicio</u>	<u>64</u>
<u>C.2 Menú de conexión</u>	<u>65</u>
<u>C.3 Menú de visualización</u>	<u>66</u>
<u>C.4 Configuración del experimento en solitario</u>	<u>66</u>
<u>C.5 Configuración de experimento multijugador master</u>	<u>67</u>
<u>C.6 Configuración de experimento multijugador cliente</u>	<u>68</u>
<u>C.7 Información de controles de cámara</u>	<u>69</u>
<u>C.8 Cámara superior</u>	<u>70</u>
<u>C.9 Cámara derecha</u>	<u>70</u>
<u>C.10 Cámara izquierda</u>	<u>71</u>
<u>C.11 Multicámara</u>	<u>71</u>
<u>D.1 Menú para representación simbólica</u>	<u>73</u>
<u>D.2 Menú de selección de avatar</u>	<u>73</u>
<u>D.3 Menú de calibración de avatar</u>	<u>74</u>
<u>E.1 Representación simbólica en uso</u>	<u>76</u>
<u>E.2 Avatares humanoides</u>	<u>76</u>
<u>E.3 Avatares humanoides en uso</u>	<u>77</u>
<u>F.1 Visualización de datos de sesión en solitario</u>	<u>79</u>
<u>F.3 Visualización de datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados</u>	<u>83</u>

Índice de tablas

<u>3.1 Estimación temporal de tareas</u>	<u>30</u>
<u>4.1 Presupuesto recursos humanos</u>	<u>40</u>
<u>4.2 Presupuesto recursos hardware</u>	<u>41</u>
<u>4.3 Presupuesto recursos software</u>	<u>42</u>
<u>4.4 Costes indirectos</u>	<u>43</u>
<u>4.5 Costes humanos imprevistos</u>	<u>44</u>
<u>4.6 Costes imprevistos</u>	<u>44</u>
<u>4.7 Presupuesto total</u>	<u>45</u>
<u>4.8 Presupuesto según etapa y tarea</u>	<u>46</u>
<u>F.2 Tabla de datos de sesión en solitario</u>	<u>79</u>
<u>F.4 Tabla de datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados</u>	<u>84</u>
<u>F.6 Tabla de datos de sesión multiusuario con avatares desincronizados</u>	<u>89</u>

Capítulo 1

Formulación del problema

En este apartado se ha hecho una introducción al tema del proyecto, se ha descrito el problema a resolver y marcado los objetivos que tiene este proyecto.

1.1 Introducción

La realidad virtual es un entorno generado artificialmente por ordenador,[1, 2] que puede simular la realidad o tomar como referencia un mundo imaginario de fantasía. Con tal de crear la sensación al usuario de estar inmerso físicamente en dicho entorno, incorpora principalmente feedback visual y sonoro, pero también puede incluir de más tipos como feedback táctil.

Para poder crear tal sensación de inmersión, se requiere de dispositivos especiales diseñados específicamente para la realidad virtual. Conforme avanza la tecnología se van desarrollando dispositivos con mayor variedad de funciones y que son capaces de plasmar el mundo de la realidad virtual con mucha más calidad para el usuario, permitiéndole una mejor interacción.

Durante los últimos años, han surgido notorios avances tecnológicos[3, 4] en el campo de la realidad virtual, lo que ha provocado un aumento en su difusión al público.

Gracias a dichos avances y a lo destacable que es, la realidad virtual ha ido aumentando en popularidad [5] y ya se empieza a usar en múltiples campos[6, 7]: organización de proyectos, enseñanza, medicina, videojuegos, cine, terapia, ingeniería, etc.

1.2 Formulación del problema

La realidad virtual es un campo que permite hacer mayores avances en relación al desarrollo de nuevos y mejores dispositivos. Acciones que hace años requerían un gran equipamiento en una sala especializada para poder ser transferidas del mundo real al virtual, como por ejemplo andar[8], ahora se pueden realizar en cualquier sala gracias a los dispositivos actuales[9], que también son más pequeños y cómodos al uso.

Estos avances han permitido que la interacción con el entorno virtual sea mucho más natural, ya que se captura una versión simplificada (posición de las extremidades, cintura y cabeza) de los movimientos que hace el usuario en el mundo real y se transfiere al mundo virtual[10].

Esto en conjunto con el concepto de realidad virtual colaborativa crea escenarios en los que personas pueden estar interactuando entre sí en el mismo entorno de realidad virtual pero sin verse físicamente en el mundo real[11]. El hecho de que haya más de una persona conectada simultáneamente en el mismo entorno de realidad virtual trabajando juntos en él implica interacción entre humanos, pero al estar en realidad virtual no se tiene esa sensación y el comportamiento puede variar bastante comparado al que se puede observar en el mundo real.

Este problema de cambio en la forma de actuar al estar en realidad virtual se ha estado observando desde los inicios de la realidad virtual. Al estar en realidad virtual, los usuarios se sienten inseguros al no ver lo que tienen a su alrededor en la realidad teniendo miedo de chocar. Debido a esta inseguridad, los usuarios toman precauciones en sus movimientos, mostrando unos movimientos más reducidos en comparación a los que harían fuera de la realidad virtual.

Con el uso de la realidad virtual colaborativa, el problema con la inseguridad de movimientos se ve incrementado al estar interactuando con otros seres humanos, el miedo a colisionar aumentan al tratar con otra persona que a su vez se está moviendo.

En este proyecto se busca estudiar este comportamiento: como se mueven los humanos en realidad virtual y qué precauciones toman para desplazarse sin ver su entorno real. Uno de los factores que se pretende

estudiar es el clearance entre usuarios. Este término se refiere al espacio vacío de separación que mantienen los usuarios para evitar colisiones.

Partiendo de estudios ya realizados que muestran que avatares poco realistas provocan que el clearance aumente[[12](#), [13](#)], en este proyecto se pretende probar la hipótesis formulada de que usando avatares con un nivel de realismo muy elevado se produce una disminución del clearance.

Para demostrar dicha hipótesis, en este proyecto se usan diferentes tipos de avatar, cada uno con un nivel de realismo diferente, siendo el más realista de todos un avatar humanoide que, gracias a la aplicación de la cinemática inversa, imita a la perfección los movimientos que realiza el usuario de forma totalmente sincronizada.

1.2.1 Objetivos del proyecto

Este proyecto ha tenido una serie de objetivos definidos a continuación:

1. Construir el entorno de realidad virtual donde se realizarán los experimentos del proyecto, lo más realista posible.
2. Desarrollar un sistema con conexión para 2 usuarios en diferentes ordenadores.
3. Incluir un sistema de recopilación de datos del sistema de realidad virtual para poder estudiar el comportamiento humano en realidad virtual.
4. Realizar experimentos con diferentes participantes para estudiar su comportamiento con cada tipo de avatar.
5. Estudiar el comportamiento de los participantes en diferentes situaciones: con representación simbólica, con avatar humanoide sin sincronización en los movimientos, y con avatar humanoide totalmente sincronizado.

Capítulo 2

Contexto y alcance del proyecto

En este apartado se ha definido el contexto del tema tratado a lo largo de este trabajo, definiendo el alcance del proyecto, explorando el estado del arte y, finalmente, se han mencionado las diferentes metodologías utilizadas para llevar a cabo todo el proyecto.

2.1 Contexto

Seguidamente se han definido los términos propios del tema, descrito los dispositivos que se han usado en este proyecto y se han determinado los actores implicados en la realización de este proyecto.

2.1.1 Definición de términos

- Realidad virtual colaborativa[14]: este término se refiere a un entorno de realidad virtual en el que existen varios usuarios simultáneamente, de forma que todos forman parte del mismo entorno virtual e interactúan con él al mismo tiempo: teniendo la posibilidad de verse los unos a los otros y experimentar las interacciones de todos con el entorno y entre ellos.
- Cinemática inversa[15]: es un procedimiento matemático que permite calcular el movimiento de una cadena de articulaciones, por ejemplo los huesos de un esqueleto, para lograr que un actuador final, por ejemplo una mano, acabe situado en una posición concreta.
- Avatar[16]: es la representación gráfica que se asocia a un usuario para su identificación dentro de un mundo virtual. Puede variar desde ser una imagen en sistemas de chats y foros hasta ser un modelo 3D de un personaje en videojuegos

- Clearance[17]: es el espacio vacío que se existe entre dos objetos.

2.1.2 Dispositivos

De entre los diferentes tipos de dispositivos, el componente principal de un set de realidad virtual, y a la vez el más común, es el Head-Mounted Display (HMD)[18, 19]. Es un aparato que se equipa el usuario en la cabeza o como parte de un casco. Consta de un visor colocado justo frente a los ojos, con una pequeña pantalla para cada ojo. El HMD permite al usuario tener una visión de 360° del entorno virtual, moviendo el punto de visión del mundo virtual en función de los movimientos que haga el usuario.



Figura 2.1: HMD

Para poder usar los dispositivos de realidad virtual moviéndose por un amplio espacio del mundo real, se usan unos dispositivos llamados Base Station[20]. Estos dispositivos son unas pequeñas cajas negras que se colocan principalmente a los extremos de la zona donde se pretende usar los otros dispositivos de realidad virtual y que realizan escaneos periódicos sobre dicha zona, localizando dentro de la misma a todos los demás dispositivos de realidad virtual conectados.



Figura 2.2: Base Station

Con tal de interactuar con el entorno de la realidad virtual se usan controladores así como otro tipo de dispositivos denominados trackers entre otros, pero aquí solo se describirán los trackers y controllers puesto que son los dispositivos que se usarán en este proyecto.

Los trackers[[21](#)] son aparatos que se ajustan a las extremidades o cintura y que permiten la captura de movimientos del usuario en el mundo real para transferirlos al mundo virtual. Los controladores[[22](#)] tienen las mismas funciones que los trackers, pero cuentan con botones que permiten al usuario interactuar más directamente con los componentes del entorno virtual, por ejemplo pulsar un botón para coger un objeto cercano.



Figura 2.3: Controller



Figura 2.4: Tracker

2.1.3 Actores

2.1.3.1 Desarrollador y diseñador

Las tareas de desarrollador de este proyecto y diseñador del entorno virtual han sido realizadas por mi.

2.1.3.2 Director y codirectora

El director de este proyecto es Alejandro Ríos Jerez. La codirectora es Nuria Pelechano Gomez. Ellos han sido los encargados de gestionar y guiar al desarrollador durante la realización del proyecto.

2.1.3.3 Participantes del experimento

Serán las personas que participarán en los experimentos, las que proporcionarán los datos de estudio del proyecto.

2.1.3.4 Beneficiarios

Los resultados y conclusiones extraídas a partir de este proyecto son aplicables al campo de la realidad virtual en su totalidad, por lo tanto beneficia a todo desarrollador de realidad virtual.

2.2 Alcance

Esta sección sirve para marcar claramente hasta qué punto se ha alcanzado con la creación de este proyecto, definiendo los pasos que se ha seguido para lograr su total desarrollo.

La meta principal del proyecto ha sido estudiar el comportamiento humano en un entorno de realidad virtual, más concretamente cómo varía dicho comportamiento dependiendo del nivel de inmersión que se obtiene con distintos tipos de avatares.

Con tal de alcanzar esta meta, se diseñaron una serie de experimentos basados en hacer la misma acción para cada tipo de avatar.

La acción a realizar en los experimentos se decidió que sería completar un puzzle de nueve piezas, de forma que cada participante tuviese las piezas de su puzzle correspondiente en un extremo del entorno virtual, y el panel a completar en el lado opuesto. De este modo los participantes

recorren nueve veces el entorno virtual al completo, teniendo que cruzarse entre ellos.

Partiendo de esa base, se han realizado diferentes versiones del entorno virtual con diferentes tipos de representación para el usuario: una con una representación simbólica del usuario, y dos versiones más utilizando un avatar humano. De las dos versiones que usan avatar, una tiene los movimientos completamente sincronizados entre mundo real y realidad virtual, y en la otra versión los movimientos están desincronizados.

Para poder llevar a cabo los experimentos que se habían diseñado, el primer paso fue construir el entorno de realidad virtual que todos ellos comparten. Se ha construido una sala de tamaño acorde al espacio disponible en el mundo real para realizar los experimentos y, con el objetivo de que dicho entorno fuese realista y que este proporcionará una buena sensación de inmersión, se han añadido librerías a modo de decoración, así como puertas y ventanas con vistas a un paisaje exterior. Imágenes del escenario pueden ser localizadas en el [apéndice](#).

Una vez acabada la construcción de las bases del entorno virtual, se implementaron las piezas de puzzle y los tableros, y se ajustaron sus físicas haciendo que las piezas fuesen objetos afectados por la gravedad y que al contacto con su respectivo tablero se uniesen a él.

Con el entorno virtual acabado, fue el momento de incluir un avatar y aplicar la cinemática inversa. En estos momentos iniciales, al avatar se le programó el movimiento con el teclado, para así poder hacer pruebas simples de movimiento e interacción con las piezas de puzzle.

Seguidamente se implementó la versión para un solo usuario en la que se crea una columna como obstáculo. A continuación se creó el sistema de recopilación de datos y haciendo uso del movimiento provisional con teclado se hicieron las comprobaciones para asegurarse de que funcionaba correctamente.

Llegados a este punto, se añadió el soporte para realidad virtual, conectando los datos de posición de los dispositivos a la cinemática inversa que ya se había aplicado anteriormente. En cuanto se ajustaron correctamente todos los valores para que se ajustase la cinemática inversa correctamente con los datos de los dispositivos de realidad virtual, se implementó la versión en que los avatares están desincronizados.

Con todos los pasos previos realizados, se pasó a ampliar el sistema para tener 2 usuarios simultáneamente. Para ello se realizaron modificaciones en el sistema para poder conectar dos ordenadores diferentes en la misma realidad virtual. Para ello se tuvieron que adaptar y revisar varios componentes del sistema que había hasta el momento, principalmente la cinemática inversa de los avatares y la física de las piezas de puzzle.

Al completar la conexión entre ordenadores, permitiendo así la realidad virtual colaborativa en nuestro sistema, se empezó a diseñar la interfaz de usuario para poder acceder a todas las funciones que se habían implementado. También se creó la versión que usa una representación simbólica en vez de avatares, un conjunto de cámaras para poder observar la escena desde distintos ángulos y un visualizador de datos para poder ver de forma gráfica en la escena los datos recopilados de sesiones anteriores.

Para concluir el proyecto, se realizaron revisiones finales en busca de errores para comprobar que no hubiese ningún fallo y repararlos en caso de que los hubiese.

Debido a la aparición de bugs difíciles de hallar en un momento tan cercano a la fecha de presentación de este proyecto, no se pudieron llegar a realizar los experimentos.

2.2.1 Posibles obstáculos

Antes de la realización de este proyecto y, para que pudiese ser entregado en el término acordado, se hizo una detección de los problemas que era posible que aparecieran y formas de afrontarlos para que no produjese un retraso excesivo:

- **Bugs:** Como en todo software, era muy probable la aparición de diferentes errores durante el proceso de implementación y desarrollo del proyecto. Dichos errores han debido ser localizados y solucionados rápidamente para minimizar su influencia sobre el tiempo de realización del proyecto.
- **Disponibilidad del laboratorio del Centro de Realidad Virtual (CRV):** para la realización de este proyecto ha sido necesario usar el equipo de realidad virtual del laboratorio del CRV. Un posible

problema podría haber sido no poder disponer de dicho equipo debido a que esté en uso.

- Problemas de hardware con los dispositivos de realidad virtual: como se comenta en el punto anterior, este proyecto ha requerido el uso de varios dispositivos de realidad virtual. Un posible problema podría haber sido que alguno de dichos dispositivos sufra una avería o tenga un mal funcionamiento.
- Comprender las librerías que se han sido utilizadas. Para algunos de los aspectos más importantes de este proyecto se han usado librerías: SteamVR para el tratamiento del equipo de realidad virtual, Photon para implementar el sistema de conexión entre ordenadores y FinalIK para la cinemática inversa. Llegar a entender esas librerías ha podido llegar a suponer un obstáculo durante la realización del proyecto.
- Lag: debido a la complejidad que conlleva para el ordenador el tratamiento de todos los dispositivos de realidad virtual, ha sido posible que surgieran problemas de lag, o retraso en comunicación, al no ser capaz de generar los gráficos de la escena en tiempo real de forma fluida.

2.3 Estado del arte

Inicialmente uno de los temas tratados en el campo de la realidad virtual ha sido la interacción entre humano y entorno virtual. Debido a los inconvenientes que presentaba la tecnología en su momento, se estudiaba cómo diseñar entornos virtuales que evitasen el mareo o malestar de los usuarios al realizar sesiones prolongadas o los problemas de percepción debidos al desplazamiento por el entorno virtual al permanecer estático en el mundo real [23]; principalmente conceptos relacionados con sets de realidad virtual para videojuegos compuestos solo por un HMD y un mando de consola convencional.

Más actualmente, se ha realizado estudios sobre la interacción con entornos de realidad virtual con factores de respuesta adicional en reacción a gestos que realiza el usuario. Concretamente [24] se desarrolla la idea de que el usuario se siente más integrado y mejora la empatía al tener esas reacciones en el entorno virtual. No obstante es un artículo

centrado en entornos virtuales en los que el usuario solo usa HMD y sensores en las manos, con lo que no se desplaza por el entorno.

Relacionado con la realidad virtual colaborativa, se han estudiado cuales son los requisitos mínimos para que el usuario tenga la sensación de tener a otro usuario presente, en base a la calidad y las características de los avatares de cada usuario[12].

En otro artículo se menciona la importancia de la representación detallista del avatar para facilitar la inmersión del resto usuarios y facilitar la comunicación entre ellos gracias a poder ver su expresión como si estuviese presente [13]. No obstante el objeto de estudio del artículo es hallar la forma de transmitir los datos de captura de movimiento de forma óptima para poder usarse en internet.

Al basarse en el uso de una tecnología bastante reciente (2017)[9], no existen actualmente muchos estudios al respecto del estudio del comportamiento en realidad virtual colaborativa en el que los usuarios tengan total libertad de movimiento.

Más centrado en el sector específico de este proyecto, en la conferencia de 2018 IEEE sobre realidad virtual [25] se hizo una breve mención a realidad virtual colaborativa con captura de movimiento real, transfiriendo en tiempo real al mundo virtual logrando interacción entre usuarios remotos, pero esta vez se limitaron simplemente a la presentación del concepto de realidad virtual colaborativa con captura de movimiento completa, refiriéndose a este tipo de realidad virtual como ‘Augmented VR’.

Seguidamente, en la última conferencia sobre realidad virtual del IEEE (2019) se presentó un estudio [26] sobre el comportamiento humano esquivando otras personas en realidad virtual. En este estudiaron cómo afecta al movimiento del usuario el hecho de que la otra persona este mirándolo. No obstante este estudio se hizo usando un modelo como segundo usuario de forma que no es estrictamente realidad virtual colaborativa, ni se trataron casos en los que ambos usuarios estuviesen en movimiento.

El estudio que se acerca más al tema a tratar este proyecto se trata de un artículo que estudia cómo se desplazan los humanos en un entorno de realidad virtual colaborativa[27]. En este estudio se limitaron a observar cómo los humanos se comportan esquivando obstáculos al andar por el

entorno de realidad virtual. En este proyecto se ha tratado un tema similar, pero se ha mejorado el procedimiento al añadir un mayor nivel de inmersión al aplicar cinemática inversa para simular mejor el movimiento.

2.4 Metodología

En este apartado se ha descrito la metodología que se ha seguido durante la realización del proyecto.

2.4.1 Metodología de Trabajo

El proyecto se ha tenido que completar en un periodo corto e intenso, por ello se ha usado la metodología scrum[28], ya que esta proporciona mayor flexibilidad y permite adaptarse a las necesidades que surgen en cada etapa del proyecto.

2.4.1.1 Ciclos de desarrollo cortos

Se ha usado un enfoque iterativo con sprints de 15 días, con objetivos establecidos a cumplir en cada uno. De esta forma se ha podido mantener una mejor planificación del proyecto y nos ha permitido hacer un mejor seguimiento de su estado actual.

2.4.1.2 Intensa comunicación con los clientes

Aunque este proyecto no ha tenido ningún cliente real, se puede entender como este a los responsables de su seguimiento, el director y la codirectora. Planteado de esta manera, se han realizado reuniones al finalizar cada sprint manteniendo una comunicación periódica con ellos que ha servido de guía durante el desarrollo del proyecto y ha permitido detectar más fácilmente la presencia de errores.

2.4.2 Herramientas de seguimiento

Para la organización de tareas de este proyecto se ha usado la web ‘trello.com’, que es una herramienta de organización de proyectos. Usando trello se han definido las diversas tareas para cada sprint y se ha podido hacer un seguimiento de su desarrollo a partir del registro.

Para la comunicación se ha usado, además de las comentadas reuniones; el correo electrónico para comunicados sobre el estado del proyecto y la aplicación de mensajería móvil whatsapp para asuntos más urgentes.

2.4.3 Método de validación

Para la validación han realizado pruebas constantemente sobre todo el código y cada cambio realizado. Al requerir del equipo del CRV, el proyecto y todas las versiones siempre han estado a disposición en las reuniones en el CRV con el director de proyecto, de forma que se han podido validar sus avances siempre que ha sido preciso, remontándose a versiones anteriores cuando han surgido errores complejos.

Capítulo 3

Planificación temporal

Fue importante seguir una estricta planificación temporal con tal que el proyecto se pudiese llevar a cabo en un margen de tiempo tan corto. En este apartado se ha: justificado el tiempo de duración, descrito y especificado temporalmente cada una de las tareas realizadas conjuntamente con el diagrama de gantt que se ha seguido, descrito diferentes tipos de recursos empleados para la realización del trabajo y explicado el plan de acción que se ha ideado para afrontar la posible aparición de problemas durante el proyecto.

3.1 Duración del proyecto

Inicialmente este proyecto iba a durar hasta finales de junio, pero a medida que avanzaba el proyecto se vio la necesidad de desarrollar algunas funciones adicionales, como por ejemplo un sistema de visualización de datos para poder ver los datos de forma gráfica. Teniendo en cuenta las nuevas tareas a realizar, la duración del proyecto se extendió hasta finales de octubre.

3.2 Descripción de las Tareas

En este apartado se ha nombrado cronológicamente todas las tareas a realizar durante el proyecto y se realizará una breve descripción de cada una de ellas.

3.2.1 Familiarización con el entorno de trabajo

En este proyecto se ha usado el motor gráfico Unity, así como una serie de librerías, esta tarea incluye el estudio de las diferentes herramientas y sistemas que ofrece Unity, como el estudio de las tres librerías que se han usado durante el proyecto.

3.2.1.1 Unity

Para poder crear el entorno ha sido necesario aprender a usar las herramientas de modelado que ofrece Unity, así como los sistemas de iluminación y renderizado de escenas de que dispone actualmente.

Concretamente se han utilizado las herramientas y funcionalidades siguientes:

- Para el modelado de algunos de los componentes de la escena, como por ejemplo las piezas de puzzle y las paredes de la sala, se ha utilizado la herramienta de Unity ProBuilder.
- Para el renderizado y la iluminación se estudiaron las diferentes opciones que ofrece unity actualmente y se escogió usar la Light Weight Render Pipeline (LWRP) como sistema de generacion de graficos, debido a la calidad que ofrece en relación al bajo coste computacional. Para poder aplicarla a toda la escena fue necesario utilizar la herramienta de Unity Shader Graph para ajustar algunas de las texturas y que la LWRP las reconociese correctamente.
- Se ha tenido que estudiar también el sistema de físicas y colisiones de Unity para poder aplicarlo sobre las piezas de puzzle y implementar la base lógica de los experimentos.

3.2.1.2 SteamVR

Para poder manejar todos los dispositivos de realidad virtual, capturar sus movimientos y recibir los datos de que botones se pulsan en los controllers se ha requerido el uso de la librería SteamVR.

3.2.1.3 FinalIK

Esta ha sido la librería clave que ha permitido aplicar cinemática inversa sobre los datos transmitidos por los dispositivos de realidad virtual para añadir realismo a los movimientos del avatar. Se hizo un estudio exhaustivo de los componentes de esta librería para conseguir el mayor nivel de detalle y ajustar incluso la posición de los dedos para que el usuario se vea sujetando los controllers en la realidad virtual de la misma forma que lo hace en el mundo real.

3.2.1.4 Photon

Gracias a esta librería ha sido posible la conexión que ha permitido tener realidad virtual colaborativa. Para lograrlo se ha aprendido a usar el sistema de eventos de Photon, así como las llamadas a funciones remotamente desde un ordenador a otro y el sistema de transmisión de datos entre cliente y servidor.

3.2.2 Implementación

3.2.2.1 Diseño y construcción del entorno virtual

Esta ha sido la tarea inicial del proyecto. Aquí es donde se han usado los conocimientos previamente aprendidos sobre Unity y las diferentes herramientas descritas anteriormente.

Con el objetivo de construir un entorno lo más realista posible, se añadieron librerías a modo de decoración, puertas para que diese la sensación de estar en una sala real con entradas y salidas, y ventanas con vistas a un paisaje, de forma que se ve como parte de un mundo y no como una habitación aislada.

Esta tarea también incluyó la implementación de las piezas de puzzle, su sistema de colisiones con los tableros y aplicarles físicas para que se vean afectadas por la gravedad.

3.2.2.2 Implementar cinemática inversa

Esta tarea ha tratado en aplicar los conocimientos sobre FinalIK.

Esta librería funciona teniendo constancia de la estructura ósea al completo del avatar. Después se definen unos “targets”, tal y como los denomina FinalIK, para los componentes de la estructura ósea sobre los que se tenga información de la posición que se desea. El componente diseñado para personajes humanoides de finalIK admite “targets” para cabeza, manos, codos, cintura, rodillas y pies, también permite definir estructuras propias al completo y añadir “targets” para cualquier otro componente óseo, pero en nuestro caso no ha sido necesario definir ninguno adicional.

Una vez definidos los “targets”, realizada la calibración de cada uno de ellos y vinculados a los huesos del avatar que corresponden, FinalIK se encarga de llevar a cabo todos los cálculos necesarios para resolver la cinemática inversa con las posiciones de los “targets” proporcionados. Al resolver los cálculos, modifica las posiciones y rotaciones de todos los huesos de la estructura ósea del avatar para proporcionarle una postura en la que los “target” coincidan con los componentes óseos a los que están vinculados, y el avatar al completo adquiera una postura real sin movimientos imposibles y sin deformar el avatar.

Esta tarea ha sido la que ha requerido más pruebas por lo complejo que ha sido ajustar correctamente todos los valores de cada “target” para que el avatar se moviese correctamente y generar el menor número de fallos. Debido a lo delicado que es este ajuste y a la gran cantidad de factores que pueden llegar a afectar al calibrado, se ha tenido que ir revisando y reajustando los valores de calibración durante todo el transcurso del proyecto.

Esta tarea también ha incluido darle posición a las manos para que el usuario se pueda ver a sí mismo agarrando los controllers.

Como parte final de esta tarea, se ha implementado la variante del experimento en la que el avatar está desincronizado. Esta fue la parte final de esta tarea porque se basa en que la variante totalmente sincronizada funcione correctamente, y sobre ella se añaden animaciones al avatar para así generar esa desincronización.

3.2.2.3 Añadir soporte para realidad virtual

A partir del inicio de esta tarea fue cuando se empezó a necesitar el uso del equipo del laboratorio del CRV. La realización de esta tarea ha implicado el tratamiento de todos los dispositivos de realidad virtual: ajustar correctamente la cámara del HMD, definir los controles de los controllers y sus interacciones con las piezas de puzzle para que el usuario pueda cogerlas, y el seguimiento de todos los trackers.

Al tener ya incluida la librería de FinalIK en el proyecto al empezar esta tarea, se ha incluido el proceso de combinar SteamVR con FinalIK a la misma.

Para ello, una vez fue integrada SteamVR al completo se pasaron los

componentes que realizan el seguimiento de los dispositivos de realidad virtual a FinalIK para que este los pudiese usar como punto de referencia sobre el cual definir los “targets” que necesita para poder resolver la cinemática inversa.

3.2.2.4 Sistema de recopilación de datos

Esta parte ha sido una de las tareas más básicas, ya que sin este tipo de sistemas no se podrían extraer los datos de cada sesión de experimentación para realizar posteriormente un análisis de los mismos.

3.2.2.4.1 Crear sistema

Esta subtarea se ha basado en decidir qué datos son los que se necesita estudiar o son importantes para posteriormente poder extraer conclusiones de los experimentos. Una vez decididos que datos se precisa guardar de los experimentos, se escribió el código que se encarga de guardar esos datos en un fichero en intervalos de tiempo determinados.

Los campos que fueron decididos como datos importantes han sido: una marca de tiempo, posición de los participantes, la distancia que hay entre ellos para así tener una medida del clearance, su velocidad y si están o no en posesión de una pieza del puzzle.

Mientras se realizaban las pruebas de funcionamiento de este sistema, se diseñó y creó un sistema de cámaras para poder observar desde la pantalla del ordenador la escena al completo desde diferentes puntos de vista.

3.2.2.4.2 Visualizador de datos

Esta subtarea ha surgido a medida que iba avanzando el proyecto, mientras se hacían pruebas con el recopilador de datos, se vio que una herramienta que nos permitiese ver los datos de forma gráfica en la escena sería realmente útil.

Una vez descubierta esa necesidad, se procedió a crear dicha herramienta. El visualizador de datos se ha diseñado de forma que lee un archivo que haya sido generado por el recopilador de datos, y muestra en la escena puntos en cada una de las posiciones que han sido guardadas en el archivo, dibujando así las trayectorias de cada participante durante esa sesión de experimento.

Esta herramienta, en conjunto con el sistema de cámaras previamente

instaurado, ha acabado siendo muy útil para poder analizar los datos recopilados.

En el apéndice se ha adjuntado un fragmento de un fichero de datos para mostrar su formato, y su representación visual producida por el visualizador de datos mostrada a través del sistema de cámaras.

3.2.2.5 Ampliar a realidad virtual colaborativa

Este fue el momento en el que se empezaron a necesitar dos ordenadores para poder hacer las comprobaciones de código. Aquí se pusieron en práctica los conocimientos que fueron adquiridos sobre la librería Photon para conseguir conectar los dos ordenadores en la misma realidad virtual al mismo tiempo.

Gracias al sistema de eventos y llamadas a función remotas de Photon se ha conseguido comunicar la información necesaria para que el recopilador de datos funcionase correctamente estando 2 usuarios simultáneamente.

Para conseguir que los usuarios pudiesen verse el uno al otro se ha requerido crear duplicados ficticios de todos los dispositivos de realidad virtual de cada usuario. Haciendo uso de esos duplicados y del sistema de transmisión de datos de Photon, se ha conseguido que cada usuarios pueda disponer de los datos de posición de los dispositivos de realidad virtual del otro usuario. Con esos datos ha sido posible localizar a ambos usuarios en los dos ordenadores con conexión en tiempo real.

3.2.2.6 Modos de experimento

En esta última etapa de la parte de implementación, se han añadido todos los menús y la interfaz de usuario necesarias para poder acceder a todas las funcionalidades que se han programado a lo largo del proyecto. También se dejó para esta tarea la creación de la versión del experimento en la que se usa una representación simbólica en lugar de avatar para representar al jugador. Se planeó de esta manera porque esta era la versión más sencilla de implementar, y tan solo se ha necesitado simplificar una de las versiones que usan avatar para lograr desarrollar esta última versión.

3.2.3 Fase final

3.2.3.1 Revisión final

En esta tarea se ha examinado exhaustivamente el programa en su totalidad, probando múltiples veces todas y cada una de las funcionalidades de forma muy cuidadosa en búsqueda de errores. Esta tarea fue concluida una vez se arreglaron todos los errores hallados durante la misma y se estuvo completamente seguro de que no existía ninguno más.

3.2.3.2 Realización de los experimentos

Una vez alcanzado este punto del proyecto se habrá acabado la fase de implementación y realizado todas las pruebas finales, dejando el programa totalmente limpio de errores y listo para realizar experimentos. En esta tarea se reunirán a los participantes del experimento y se realizarán las pruebas en parejas: se empezará por una por persona en solitario, seguidamente se harán en parejas comenzando por una usando la representación simbólica, seguidamente una con avatares sin sincronización de movimientos y otra más usando avatares con sincronización de movimientos.

3.2.3.3 Redactar la memoria

Esta ha sido la última tarea del proyecto, basada en escribir ese documento mostrando las conclusiones extraídas a partir del estudio de todos los datos recolectados.

3.3 Estimación Temporal

Según la normativa de trabajos de final de grado de la Facultat d'Informàtica de Barcelona, este consta de 18 créditos “European Credit Transfer and Accumulation System” (ECTS), cada uno de ellos con duración de 30 horas. Sabiendo eso, se ha estimado la duración total en unas 540 horas repartidos en la siguiente tabla, la cual ha acabado coincidiendo con la duración real del proyecto.

Tarea	Horas
Familiarización con el entorno de trabajo	
• Unity	20
• SteamVR	20
• FinalIK	20
• Photon	20
Total tarea	80
Diseño y construcción del entorno virtual	55
Implementar cinemática inversa	85
Sistema de recopilación de datos	
• Crear sistema	20
• Visualizador de datos	30
Total tarea	50
Añadir soporte para realidad virtual	85
Ampliar a realidad virtual colaborativa	85
Revisión final	20
Realizar experimentos	40
Redactar memoria	40
Total	540

Tabla 3.1: Estimación temporal de tareas

3.4 Diagrama de Gantt

En esta sección se explica el diagrama de Gantt, repartido en las diferentes tareas. Para entender la distribución horaria se tiene que tener en cuenta el periodo de vacaciones de verano en agosto de agosto. Durante ese periodo de tiempo el desarrollador no estuvo disponible, y el

laboratorio del CRV permanecía cerrado o con horario limitado, de forma que el proyecto no pudo avanzar.

Se ha tenido que modificar el Gantt inicial puesto que la previsión de finalización era finales de junio y se ha alargado hasta octubre, además se han añadido tareas nuevas que no existían en la previsión inicial. Debido a su tamaño, el diagrama de Gantt se puede consultar en el [apéndice](#).

3.5 Especificación de recursos

En este apartado se especifican los recursos que se han utilizado durante el proyecto, divididos en hardware, software y humanos.

Hardware:

- Ordenador personal
- 2 Ordenadores de sobremesa
- 2 Base stations
- 2 HMDs
- 4 Controllers
- 6 Trackers

Software:

- Unity
- SteamVR
- FinalIK
- Photon
- Gmail
- Whatsapp
- Editores de texto
- Google docs

- Trello
- Windows 10

Humanos:

- Director y Coodirectora
- Profesor asignado de GEP
- Desarrollador

3.6 Alternativas y plan de acción

Esta es la sección de la memoria donde se han valorado todas las posibles desviaciones y problemas que han podido surgir durante la realización del proyecto y cómo se ha actuado en respuesta. Solo se ha disponido de 9 meses para la realización de este trabajo, por lo tanto se ha tenido que ser extremadamente riguroso en el momento de tener en cuenta los problemas que pudiesen retrasarlo de forma que, en caso de que hubiesen ocurrido, se hubiesen podido afrontar a tiempo y evitar un retraso considerable.

Durante la realización del proyecto ha habido diferentes problemas iguales o similares que han ocurrido y, aplicando el plan de acción ideado, se ha conseguido que el impacto temporal no haya repercutido tanto como para no poder entregar el proyecto.

El uso de la metodología scrum[[28](#)] ha sido de ayuda para revisar y adaptar el tiempo inicial pensado para cada tarea, de forma que si el desarrollo de una tarea se ha llegado a alargar más de lo previsto, se ha podido comprimir el resto con la finalidad de cumplir el plazo previsto.

3.6.1 Bugs

Unity es un motor gráfico con gran cantidad de funcionalidades y componentes complejos. Sobre esto se ha añadido el uso de varios dispositivos de realidad virtual, así como la conexión de 2 ordenadores en un mismo entorno virtual. Todo ello en conjunto puede comportar

una gran generación de bugs, algunos difíciles de encontrar y/o solventar que pueden retrasar de manera imprevista la fase de implementación.

Con tal de evitar dicho problema, se han realizado pruebas del código para cada pequeña modificación que se ha implementado durante el desarrollo y se han realizado reuniones periódicas con el director del proyecto, de esta forma se han podido localizar los posibles bugs más rápidamente y encontrarles solución sin comprometer demasiado el tiempo estimado.

Se ha trabajado teniendo en cuenta una posible desviación de un par de semanas sobre el tiempo estimado inicialmente, de esta forma se ha contado con un tiempo de margen para poder manejar el retraso provocado por los bugs sin que estos afectasen en exceso al tiempo de desarrollo del proyecto.

Durante la realización del proyecto, principalmente en los momentos de añadir una nueva librería y combinarla con las ya presentes, han surgido diversos bugs.

El bug mas complicado de solucionar durante la creación de este proyecto ha sido uno provocado al combinar las tres librerías. Este bug ocasionaba un malfuncionamiento de la cinemática inversa, provocando que las manos del avatar del segundo usuario no conectasen correctamente con los controllers y estuviesen a una gran distancia de los mismos en todo momento.



Figura 3.1: Bug

Tras una extensa investigación sobre cuál era la causa del bug, se descubrió que era producido por un error de comunicación generado con la unión de Photon y SteamVR. Este error de comunicación transfería los datos de la posición de los controllers del usuario A a los controllers del usuario B, de forma que los controllers del usuario B tenían 2 datos de posición en todo momento, los que recibían por parte de Photon y los de la posición real, que eran los que captaba SteamVR. De esta forma se producía una incongruencia a la hora de determinar la posición de los controllers del usuario B y esto lo trataba FinalIK provocando errores al resolver la cinemática inversa dando posiciones erróneas para las manos del avatar.

Debido a la aparición tan tardía de dicho bug y a que solucionarlo produjo un retraso de dos días, se produjo un retraso en la planificación que condujo a no poder llegar a realizar los experimentos para la fecha de entrega de este proyecto.

3.6.2 Disponibilidad del laboratorio del CRV

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, para la realización de este proyecto son necesarios múltiples dispositivos de realidad virtual, a los que solo se ha tenido acceso en el laboratorio del CRV. El laboratorio tiene más usuarios de forma que ha cabido la posibilidad que no se pudiese disponer del equipo en algún momento durante el desarrollo del proyecto.

Como plan de acción contra este problema, se ha pensado en usar un software que simula el uso de dispositivos de realidad virtual, y como medida más extrema escribir código sin poder testarlo en el momento.

Después de una búsqueda sobre librerías de uso de realidad virtual, se encontró la librería Vive Input Utility (VIU). Esta librería está basada en la librería SteamVR, de forma que se pudo aplicar al proyecto sin tener que realizar ninguna modificación, y nos proporciona un simulador de dispositivos de realidad virtual muy completo con opción para añadir hasta diez dispositivos de realidad virtual simulados a la vez.



Figura 3.2: Simulador VIU

En este proyecto se ha requerido muchos dispositivos, un total de 6 por ordenador, pero gracias al uso de este simulador, se ha podido reducir la necesidad de dispositivos para hacer las pruebas más simples hasta el punto de poder realizar ejecuciones de prueba del entorno y pruebas de conexión entre ordenadores sin necesidad de utilizar ningún dispositivo de realidad virtual.

No obstante, los controles del simulador son extremadamente torpes y robóticos si los comparamos con los movimientos reales que se hacen usando dispositivos de realidad virtual, de forma que las pruebas para calibrar correctamente la cinemática inversa de los avatares han necesitado el uso de los dispositivos.

Debido al reducido uso de dispositivos con la ayuda del simulador, durante el transcurso del proyecto no ha habido necesidad de llegar a usar la contramedida de escribir código sin poder hacer pruebas. Tampoco se ha producido ningún tipo de retraso debido a no tener disponibles el equipo laboratorio del CRV.

3.6.3 Problemas de hardware con los dispositivos de realidad virtual

Por este tipo de problemas se entiende tanto problemas de calibrado y malfuncionamiento del dispositivo como avería total del mismo.

En caso de malfuncionamiento o problemas de calibrado, se habría revisado si podía ser reparado. Si se pudiese reparar, se hubiese seguido la producción de código mientras se esperaba a que el dispositivo volviese a tener el funcionamiento correcto. En caso que no se hubiese podido reparar, se habría tenido que realizar modificaciones en el código para compensar el mal funcionamiento de dicho dispositivo, lo cual hubiese implicado un ligero retraso.

Si hubiese ocurrido el caso de avería total, este hubiese sido uno de los problemas más críticos puesto que para el proyecto es imprescindible el uso de estos dispositivos. Se hubiesen tenido que tomar diferentes acciones según el tipo de dispositivo, aunque inicialmente se pidiese un repuesto para cualquiera de ellos.

- HMD: este hubiese sido el peor de los casos ya que es el dispositivo principal del set de realidad virtual. A falta de HMD se hubiese usado un simulador durante la fase de desarrollo en su totalidad, pero se habría tenido que esperar a tener un repuesto para poder realizar los ajustes reales de calibración, así como para realizar los experimentos.
- Trackers: no hubiese sido tan relevante como otros casos. En caso de no haber podido obtener un repuesto se tendría que haber adaptado el código para que todo funcionase igual de fluido, lo que hubiese producido una gran carga de trabajo adicional y replantear algunas tareas, ya que se tendría que haber recreado el movimiento de ambos pies a pesar de tener solo los datos de uno de ellos.
- Controllor: a falta de un controllor, se habrían tenido que hacer ajustes en el código y el usuario hubiese perdido parte de la inmersión que se ha pretendido obtener en este proyecto al contar solo con una mano en el entorno virtual. Si en el peor de los casos hubiesen fallado ambos, se hubiese optado por usar un tracker en una mano, de modo que se habrían tenido que implementar las

medidas que atañen a la falta de un tracker y además haber cambiado todo el sistema de interacción del usuario con el entorno virtual. Todo esto hubiese llegado a provocar graves retrasos en el desarrollo del proyecto.

Afortunadamente, ninguno de los dispositivos han presentado ningún tipo de malfuncionamiento durante el desarrollo de este proyecto, de forma que no ha sido necesario aplicar ninguno de estos planes de acción.

3.6.4 Comprender las librerías que se van a usar

Como ya se ha comentado, para el cumplimiento de este proyecto se usarán tres librerías: SteamVR para el tratamiento de dispositivos de realidad virtual, FinalIK para la aplicación de la cinemática inversa y Photon para el sistema de conexión entre ordenadores. Se han tenido que dominar todas para implementar todas las funciones del proyecto.

La cinemática inversa ha sido un tema nuevo para mí, el desarrollador del proyecto, gracias a las asignaturas que he cursado durante la carrera, pero aun así ha sido un tema complicado de aplicar. Tanto la realidad virtual como el sistema de conexión entre ordenadores en este aspecto han sido temas totalmente nuevos para mí, con lo que el estudio de estas librerías podría haber supuesto mayor tiempo del esperado. En contramedida, gracias a la metodología scrum que se emplea en este proyecto, se podría haber reajustado el tiempo si se hubiese dado el caso de requerir más del previsto.

Durante la realización de este proyecto, siempre que se ha tenido alguna duda sobre alguna de las librerías se ha consultado la documentación oficial de las mismas y no han habido problemas en entenderlas, de forma que no se ha producido ningún contratiempo.

2.6.5 Lag

Tratar con todos los dispositivos de realidad virtual y con una conexión establecida para compartir el entorno virtual entre dos máquinas genera una carga computacional para el ordenador. Sobre esa carga, el ordenador ha tenido que ser capaz de generar todo el apartado gráfico del entorno virtual en tiempo real. Como el objetivo es que el entorno sea lo más realista posible, todo el apartado gráfico puede suponer una carga

demasiado grande para que el ordenador pueda llegar a generar la escena en tiempo real de forma estable, lo cual produciría lag.

Para solventar este problema se ha realizado un estudio sobre cuál podría ser la forma mas optima de generar cada apartado gráfico y que fuese compatible con la realidad virtual y los otros aspectos del proyecto. Si aun aplicando las técnicas más optimizadas de las que dispone Unity se hubiese llegado a experimentar lag, se hubiese reducido el número de detalles del entorno hasta lograr eliminar el lag. Esto habría requerido unas cortas tareas de testeo del entorno para hallar el nivel de detalles que llegase a soportar que implicase un ligero retraso adicional en tiempo de laboratorio.

Una vez se llegó al punto del proyecto en que se incluyó la conexión entre dos ordenadores, se realizaron pruebas para comprobar que no hubiese lag con la escena actual. Tras dichas pruebas se vio que no había problemas con el lag, de forma que no hubo necesidad de modificar la escena y no hubo necesidad de aplicar este plan de acción.

Capítulo 4

Gestión económica

4.1 Presupuesto del proyecto

En este apartado se han estimado los diferentes costes que genera la creación de este proyecto, teniendo en cuenta los recursos que emplea. Se han distinguido tres tipos de costes diferentes: directo, indirecto e imprevisto. En el coste directo se diferenciara entre recursos humanos, software y hardware. Todos los precios van con impuesto sobre el valor añadido (IVA) (21%) incluido.

4.1.1 Costes directos

En este apartado se han diferenciado tres tipos diferentes recursos a los cuales se evaluarán sus costes: recursos humanos, recursos software y recursos hardware.

4.1.1.1 Recursos humanos

Esta ha sido la sección dedicada al análisis de costes humanos que se se han usado en este proyecto.

Ha sido desarrollado por un único desarrollador (yo), pero este ha requerido del apoyo de un director y codirectora que han sido los encargados de realizar el seguimiento y la evaluación del proyecto a través de reuniones periódicas y soporte técnico siempre que ha sido necesario.

Posición	Horas	€/Hora	Sueldo
Director	50	50	2500€
Codirector	50	50	2500€
Desarrollador	540	35	18900€
Total	630		23900€

Tabla 4.1: Presupuesto[29] recursos humanos

4.1.1.2 Recursos Hardware

Seguidamente se han detallado los costes de los recursos hardware utilizados en la realización de este proyecto. Se ha dividido la siguiente tabla especificando el coste del producto en el momento de su compra, el tiempo de vida útil estimado y su amortización en €/horas.

El ordenador personal es un portátil acer comprado aproximadamente hace 3 años, con lo cual se tendrá en cuenta el precio que tenía en el momento de compra.

Los ordenadores de sobremesa son material del laboratorio del CRV y pese a no tener un coste gratuito, su coste no es un dato público.

Todos los dispositivos de realidad virtual mencionados son de la serie VIVE de la marca HTC.

Hardware	Coste(€) por unidad	Tiempo de vida (años)	Amortización(€/h)
Ordenador personal	750	4	0.085
Ordenador de sobremesa x 2	-	-	-
HTC VIVE x 2	599[30]	6	0.045
Base Station x 2	149.99[20]	6	0.012
VIVE controller x 4	149.99[31]	6	0.012
VIVE tracker x 6	119.99[32]	6	0.009
Total	3567.88		0.301

Tabla 4.2: Presupuesto recursos hardware

4.1.1.3 Recursos Software

A continuación se han detallado los costes de los recursos software que se han necesitado para el correcto desarrollo del proyecto.

Software	Coste(€)	Tiempo de vida (años)	Amortización(€/h)
Unity	-	-	-
SteamVR	-	-	-
FinalIK	80	4	0.009
Photon	-	-	-
Gmail	-	-	-
Whatsapp	-	-	-
Editores de texto	-	-	-
Google Docs	-	-	-
Trello	-	-	-
Windows 10	150	3	0.023
Total	230		0.032

Tabla 4.3: Presupuesto recursos software

4.1.2 Costes indirectos

Estos hacen referencia a los costes que son consecuencia del desarrollo del proyecto. Este proyecto se ha realizado en el laboratorio de una universidad, por lo tanto es inevitable el coste de la electricidad, movilidad, material académico y acceso a internet.

Producto	Unidades	Coste	Total(€)
Electricidad	250 kWh [33]	0.12€/kWh[34]	30
Tarjeta de movilidad T-Jove	3	105€[35]	315
Bolígrafo	2	1.50€	3
Libreta	1	5€	5
Acceso a internet	9 meses	30€/mes	270
Total			623

Tabla 4.4: Costes indirectos

4.1.3 Costes imprevistos

En esta sección se han especificado los costes surgidos a partir de imprevistos durante la realización del proyecto.

Teniendo en cuenta que varios de los planes de acción en respuesta a imprevistos conllevan una carga adicional de trabajos sobre el plan de desarrollo inicial de este proyecto, se consideró añadir un margen adicional de tiempo. Se estimó un 10% de tiempo de proyecto adicional (54 horas) como carga de tiempo adicional debido a imprevistos.

En la siguiente tabla se han detallado los costes de recursos humanos debidos a esa carga adicional.

Posición	Horas	€/Hora	Sueldo(€)
Director	5	50	250
Codirector	5	50	250
Desarrollador	54	35	1890
Total	64		2390

Tabla 4.5: Costes humanos imprevistos

También se ha tenido que contar con las desviaciones en el uso de los recursos de software y hardware. Para calcularlos se ha usado la fórmula siguiente:

$$\text{Costes imprevistos} = 0.259 \text{ €/hora} * 54 \text{ horas} = 13.99\text{€}$$

Donde 0.259 es el total de la amortización de los recursos de hardware y software utilizados y 54 son las posibles horas de desviación estimadas anteriormente.

En caso de avería total de uno de los visores de realidad virtual este se tendría que reponer, lo cual se ha de tener en cuenta para incluirlo como costes imprevistos.

Tipo	Coste
Recursos humanos	2390
Uso de software/Hardware	13.99
Reponer HTC VIVE	599
Total	3002.99

Tabla 4.6: Costes imprevistos

4.1.4 Contingencias

En este apartado se ha declarado un porcentaje de contingencia incremental por posibles olvidos en la estimación del presupuesto.

El porcentaje escogido de contingencia para este proyecto ha sido de 5%,

se escogió un porcentaje bajo debido al nivel de detalle presupuestario del que dispone el proyecto.

También se ha debido valorar la posible aparición de un recurso de software o hardware imprevisto a lo largo del proyecto. Después de valorar esta posibilidad, se consideró que era algo muy improbable la aparición de dicho recurso inesperado, ya que ya se ha contado con todo los recursos imprescindibles para este proyecto y están bien detallados en el presupuesto.

4.1.5 Presupuesto total

A continuación se especificará el presupuesto total destinado a la realización de este proyecto.

Tipo	Coste
Recursos Humanos	23900.00
Recursos Hardware	3567.88
Recursos Software	230.00
Recursos Indirectos	623.00
Recursos Imprevistos	3002.99
Subtotal	31323.87
Contingencia 5%	1566.20
Total	32890.07

Tabla 4.7: Presupuesto total

Finalmente se ha desglosado el presupuesto para cada una de las tareas especificadas anteriormente. El cálculo del coste de cada tarea se ha hecho en base al porcentaje de horas de proyecto que consumirá cada tarea definida en el Gantt según la planificación total y el coste total del presupuesto.

Tarea	Coste
Familiarizarse con el entorno de trabajo	4872.60
• Unity	1218.15
• SteamVR	1218.15
• FinalIK	1218.15
• Photon	1218.15
Implementación	21927.01
• Diseño y construcción del entorno virtual	3349.91
• Añadir soporte a realidad virtual	5177.14
• Implementar cinemática inversa	5177.14
• Sistema de recopilación de datos	3045.68
• Ampliar a realidad virtual colaborativa	5177.14
Fase final	6090.75
• Revisión final	1218.15
• Realización de los experimentos	2436.30
• Redactar memoria	2436.30

Tabla 4.8: Presupuesto según etapa y tarea

4.2 Control de gestión

Con tal de conseguir un control sobre el presupuesto estimado y asegurarnos que no nos estamos desviando de lo que se ha estipulado, al final de cada tarea se tendrá que realizar una evaluación de las horas

realizadas y el presupuesto gastado. Estos números se deberán comparar con los estimados previamente para marcar un control sobre el total de desviación actual.

Se usarán las siguientes fórmulas para llevar a cabo el control descrito:

Desviación del coste = (coste estimado-coste real)* Horas reales

Desviación del consumo = (Horas estimadas - Horas reales)*
Consumo

También se usarán indicadores para así tener una visión más genérica del desarrollo del proyecto:

Desviación total de cada tarea = coste estimado de la tarea- coste final de la tarea

Desviación total de los recursos = coste estimado del recurso - coste final del recurso

Desviación total del proyecto = presupuesto estimado del proyecto - presupuesto final del proyecto

Se hará un seguimiento periódico de estos indicadores para tener un control más exhaustivo del tiempo y los recursos disponibles.

Capítulo 5

Sostenibilidad

5.1 Dimensión medioambiental

En capítulos anteriores se ha realizado un estudio sobre el coste ambiental que supondrá la realización de este proyecto, se puede observar detalladamente el impacto ambiental que producirá.

Con la realización de este proyecto se ayudará de forma indirecta al medioambiente, ya que los resultados aportarán más fluidez a cualquier usuario de realidad virtual, facilitando la realización de tareas en realidad virtual. De esta forma el usuario tardará menos en realizar acciones en realidad virtual, lo que implica menor consumo energético al no requerir tanto tiempo de uso para acabar las tareas que quiera realizar.

La huella ecológica será mínima, desmantelar el proyecto no producirá ningún coste adicional, una vez finalizado el proyecto solo se tendría que desinstalar el entorno virtual y devolver el hardware.

5.2 Dimensión económica

Se ha especificado detalladamente todos los costos que tendrá el proyecto, diferenciándolos según su tipo, añadiendo posibles desviaciones y teniendo en cuenta todo imprevisto posible. Después de este estudio se cree que el proyecto dispone de un buen grado de viabilidad, siempre teniendo en cuenta posibles riesgos que pueden alterar la planificación estimada.

El proyecto puede resultar costoso debido al equipo que requiere, pero se debe tener en cuenta que este equipo es propio de un laboratorio y es de uso compartido para todo proyecto que se lleve a cabo en las instalaciones, de forma que el equipo no es exclusivamente para este proyecto y se amortiza entre varios usuarios.

Referente a costes también se debe tener en cuenta que entre las horas

que requiere el desarrollador, varias están destinadas a aprender cómo usar los dispositivos y librerías que se usan en el proyecto. Si se contase con un desarrollador experto en el tema, los costes del proyecto disminuirían.

5.3 Dimensión Social

La creación de este proyecto supone una mejora a nivel profesional del desarrollador, no solo le permite adentrarse de una forma más profesional en el ámbito de los motores gráficos y aplicar los conocimientos aprendidos durante la carrera, sino que además le permite estar en contacto con la realidad virtual, que es una tecnología en alza que cada vez empieza a usarse en más variedad entornos. Le permite experimentar con dispositivos que hasta ahora nunca había estado a su alcance.

Con los resultados de este proyecto se mejorará el desarrollo de futuras aplicaciones de realidad virtual, mejorando la inmersión y las interacciones humanas en realidad virtual. De esta forma no solo se benefician los desarrolladores de realidad virtual, sino los mismos usuarios. Gracias a las mejoras producidas por los resultados de este proyecto se creará una mayor sensación de presencia física real en entornos virtuales. De esta forma, por ejemplo, gente que se encuentre incapaz de reunirse con otros por cualquier razón, pueden tener la sensación de estar reunidos de verdad a través de la realidad virtual aunque físicamente se encuentren muy distantes.

Puesto que esta tecnología se basa en mejorar aspectos de exclusivamente realidad virtual no existe ningún colectivo al que afecte negativamente.

Capítulo 6

Descripción de la aplicación

A lo largo de este capítulo se ha explicado el funcionamiento del programa que ha sido desarrollado durante este proyecto. Como parte de la explicación, también se han definido los detalles de los diferentes modos de experimento que han sido implementadas.

6.1 Interfaz de usuario

Se ha comenzado describiendo esta parte porque es gracias a la cual se pueden acceder a todas las funcionalidades del programa.

Toda esta interfaz es lo que se puede observar por la pantalla del ordenador, sin usar los dispositivos de realidad virtual. Se diseñó de esta forma para poder seleccionar todas las opciones de los experimentos de forma que los participantes no estén implicados, y a la vez se pueda ver lo que ocurre en la escena en todo momento.

Todos los menús de la Interfaz están conectados tal como muestra el siguiente grafo:

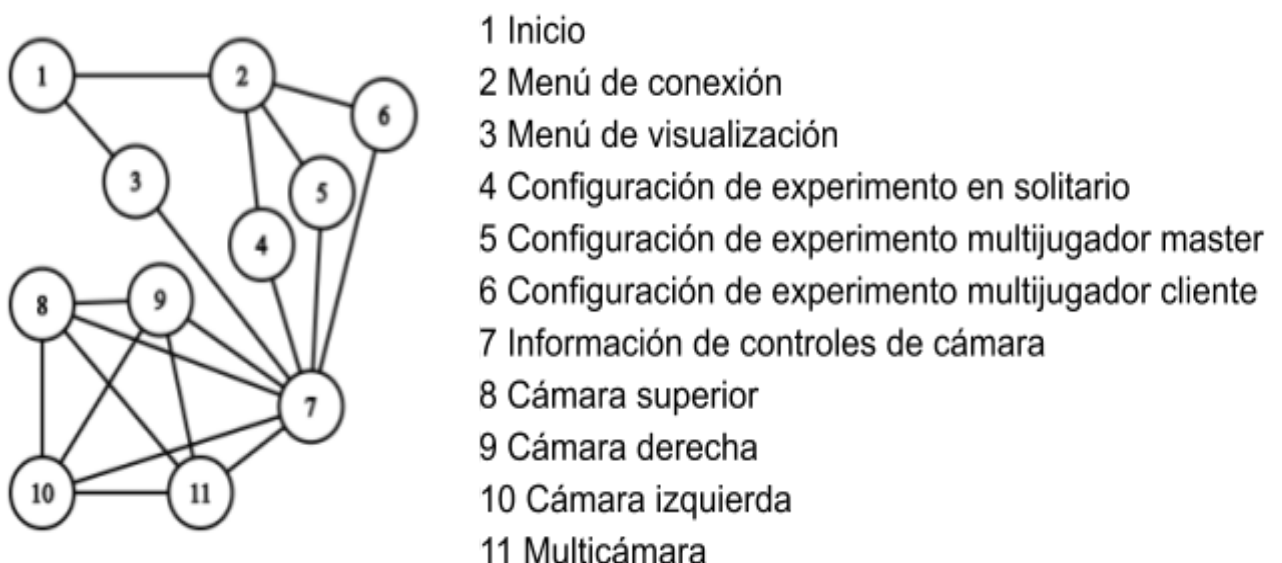


Figura 6.1: Grafo de conexión de menús de interfaz

Imágenes de cada uno de los menús se pueden ver en el apartado del [apéndice](#) sobre interfaz{link}.

Seguidamente se ha realizado una breve explicación sobre cada menú, siguiendo la numeración mostrada en el grafo:

1. Es la pantalla donde se puede escoger si se va a realizar un experimento, o si se va usar el visualizador.
2. Al iniciar a configurar el experimento se decide primero si es en solitario o multijugador, en este menú se muestran las opciones de conexión y se informa al usuario del estado actual de la conexión.
3. Es el menú donde se concreta qué fichero de datos se va a visualizar, escogiendo también si se quiere ver también el obstáculo en caso que sean datos de un experimento en solitario, y si se quiere que los datos se lean al completo automáticamente, o si se prefiere que solo lea datos cuando se mantiene pulsada una tecla.
4. Pantalla con las opciones del experimento para la versión de un solo participante, dando opciones a crear el obstáculo, las opciones referentes a qué tipo de avatar se va a utilizar, y finalmente las opciones que configuran el recopilador de datos.
5. Pantalla con las opciones del experimento para la versión para dos participantes. Este menú es el que se muestra al que crea la sala en la configuración de red (máster). Contiene las mismas opciones que el menu de configuracion para un solo participante excepto el poder crear un obstáculo.
6. Pantalla de espera para el usuario que se ha unido a la sala (cliente) en el experimento para dos participantes. Esta pantalla sirve de control para asegurarse que el usuario cliente no empiece el experimento sin antes recibir los datos de configuración del experimento por parte del máster.
7. Es el menú inicial cuando se completa la configuración del experimento o se inicia el visualizador de datos. Contiene la información sobre los controles del sistema de cámaras, y en caso de estar realizando un experimento también contiene los controles del recopilador de datos.

8. Una de las cámaras que forman el sistema de cámaras para poder ver la escena desde múltiples ángulos. Esta cámara muestra una vista aérea de la sala.
9. Otra de las cámaras del sistema de cámaras, esta ofrece la vista desde uno de los lados de la sala.
10. La última de las cámaras del sistema de cámaras, ofrece la vista desde el lado opuesto de la sala.
11. El último componente del sistema de cámaras. En este se pueden observar todas las cámaras de forma simultánea, y también muestra una breve descripción de los controles del sistema de cámaras.

6.2 Experimento

En esta sección se ha detallado el funcionamiento del programa en el aspecto de realizar los experimentos.

Tal y como se diseñó al inicio de este proyecto, la acción que los participantes realizan durante el experimento es completar un puzzle. Para realizar dicha tarea, los participantes tendrán que coger las piezas del puzzle una a una de una mesa situada a un lado de la sala, y llevarlas a un panel situado en la pared del lado opuesto de la sala. Cada participante tendrá un puzzle específico asignado, de forma que solo pueda coger las piezas de ese puzzle. Con este diseño de tarea, se pueden obtener datos de las trayectorias que siguen los participantes mientras se desplazan por el escenario y cómo se comportan al cruzarse entre ellos. Una vez comienza el experimento, a cada participante se le abre un menú que varía según el tipo de avatar que se ha configurado para la sesión actual:

- Representación simbólica: el menú tan solo contiene un botón y sirve para que el participante indique que está preparado para empezar. En cuanto se pulsa el botón, se asigna puzzle al participante y el menú desaparece.
- Avatar: para ambas versiones del avatar, sincronizado y desincronizado, se abre el mismo menú. En este al participante se le da la opción de escoger entre 2 avatares, hombre o mujer.

Seguidamente se muestran las instrucciones que el participante ha de seguir para completar el proceso de calibración del avatar para que se ajuste a sus movimientos. Una vez realizada la calibración, se asigna un puzzle al participante y el menú desaparece.

Imágenes mostrando estos [menús](#) y los [diferentes tipos de avatar](#) han sido añadidas en el apéndice.

6.3 Manejo de datos

En este apartado se ha descrito como recopila y muestra los datos de los experimentos el programa.

6.3.1 Recopilación

Siguiendo la configuración que se ha definido en la pantallas de la interfaz 4 o 5, según si es con un participante o dos, el recopilador de datos crea un fichero de extensión csv con el nombre escogido, añadiendo un número al final del nombre escogido a modo de índice si se escoge dicha opción. Durante el transcurso de la sesión, siempre que esté activado el recopilador de datos, se harán escrituras en el fichero creado en intervalos de tiempo definidos en la interfaz. Cada línea escrita contiene los datos del tiempo en que se capturaron los datos, y para cada participante mostrará si estaban sosteniendo una pieza en ese momento, su posición, su velocidad, y finalmente la distancia entre ambos participantes modo de medir la clearance.

6.3.2 Visualización

Una vez ha sido definida la localización y el nombre del fichero a leer en la pantalla de interfaz 3, el programa lee el archivo línea a línea. Si se ha escogido la opción de reproducción automática, el programa leerá el archivo de forma automática, leyendo la siguiente línea nada más acabar de leer la anterior. En caso contrario, el programa leerá el archivo solo mientras una tecla concreta se mantenga pulsada, parando de leer una vez se deja de pulsar, y reanudando la lectura al pulsarla de nuevo.

Por cada línea leída, el programa creará en el escenario una esfera a modo de marca en la posición que indica esa línea que tenía cada participante, con un color diferente para cada uno de ellos. De forma adicional, para cada línea leída se conectan las marcas nuevas a las

pertenecientes a la línea anterior, trazando líneas que muestran la trayectoria de ambos participantes.

Capítulo 7

Conclusiones

7.1 Personales

En este proyecto he aprendido a usar más en profundidad el motor gráfico Unity. Además de aprender a como usar varias de sus herramientas y componentes, también he aprendido sobre diferentes sistemas de renderizado de escenas y iluminacion mientras se estudiaba cual era la mejor forma de generar los gráficos de la sala de la mejor forma posible con poco coste computacional.

Durante la realización del proyecto, también he aprendido a como desarrollar un programa con conexión entre otros usuarios y como se trata el sistema de red y conexión entre servidores.

A pesar de ya conocer bastante bien el funcionamiento de la cinemática inversa gracias a algunas de las asignaturas que he cursado durante la carrera, este proyecto me ha permitido experimentar su uso con mucha más profundidad.

El campo que más se ha tocado durante este proyecto ha sido el de la realidad virtual. Es un campo con el que jamás había tenido contacto, debido principalmente a no tener acceso por mi cuenta a ningún dispositivo de realidad virtual. Cuando este proyecto empezó, sobre realidad virtual yo tan solo conocía los dispositivos principales como el HMD y los controladores, pero nunca había llegado a usar uno ni mucho menos implementar un programa que hiciese uso de ellos. Gracias a este proyecto he ganado mucha experiencia en este campo y he aprendido a desarrollar programas que funcionen correctamente usando realidad virtual.

7.2 Resultados del proyecto

Aunque no se hayan realizado los experimentos tal y como se había pretendido en un inicio, con la realización de este proyecto se han extraído unas conclusiones.

A partir de las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto, se ha observado que un entorno virtual más realista y adaptado al tamaño de la sala real donde se hace uso de la realidad virtual proporciona una mejora sobre la percepción.

Otra observación a partir de las pruebas realizadas es que el uso de la cinemática inversa mejora en gran medida la sensación de presencia en el entorno del usuario. Poder ver tus movimientos reflejados en la realidad virtual en tiempo real provoca que realmente sientas como que estás allí presente y que formas parte de ese entorno. Cuando se han estado usando los avatares que no hacen uso de cinemática inversa, no se ha observado tal nivel de presencia, pues el simple hecho de mirar a tus manos y no verlas donde se supone que las tienes disminuye mucho tu percepción de ti mismo en el entorno. En el [apéndice](#) se han incluido las tablas con los datos recopilados durante las pruebas mencionadas, y también la visualización en escena de esos datos.

A pesar de no haberse realizado los experimentos, teniendo en cuenta las observaciones previas y basándonos en otros estudios, creemos que el uso de avatares sincronizados mejora mucho la experiencia y disminuye más la clearance que los otros avatares.

Apéndices

Apéndice A

Entorno de realidad virtual

A.1 Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle A

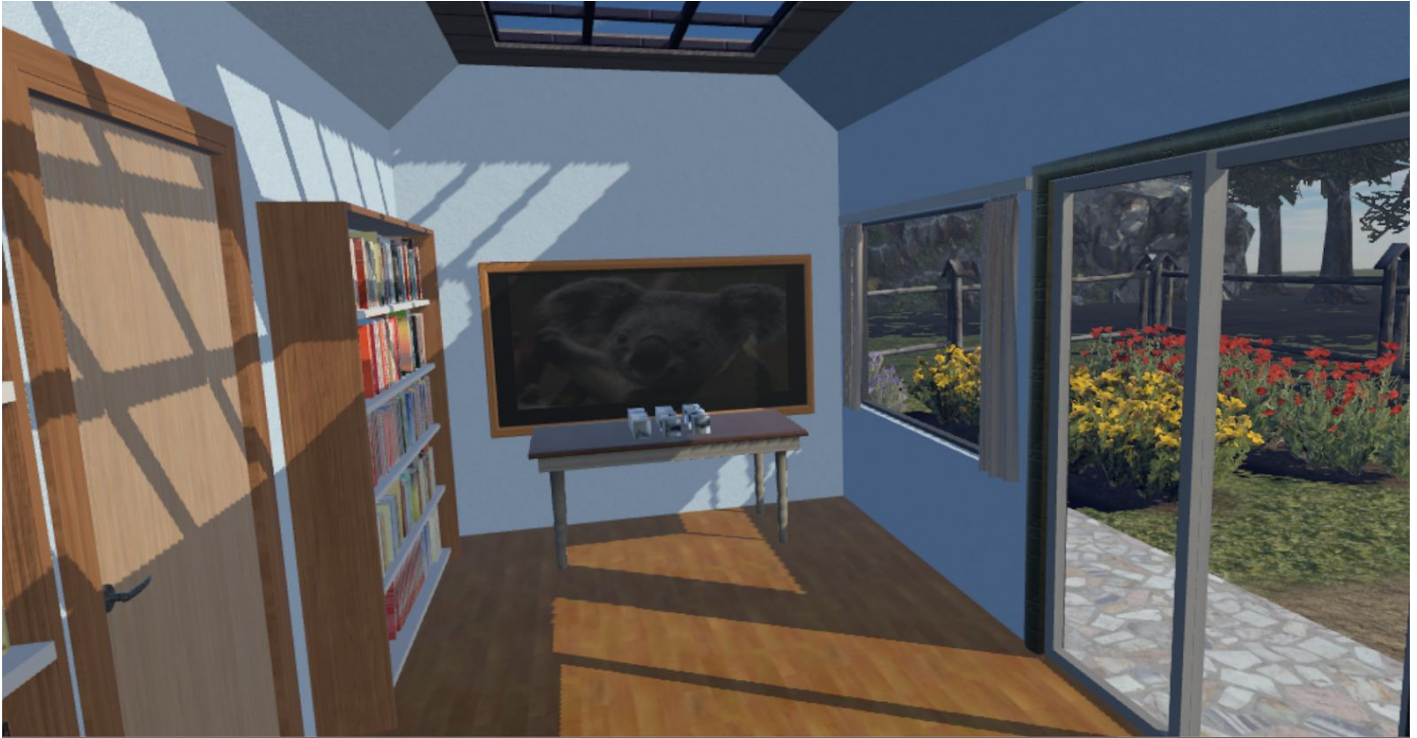


Figura A.1: Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle A

A.2 Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle B



Figura A.2: Vista de la sala de realidad virtual enfocando puzzle B

Apéndice B

Diagrama de Gantt del proyecto

B.1 Diagrama de Gantt del proyecto

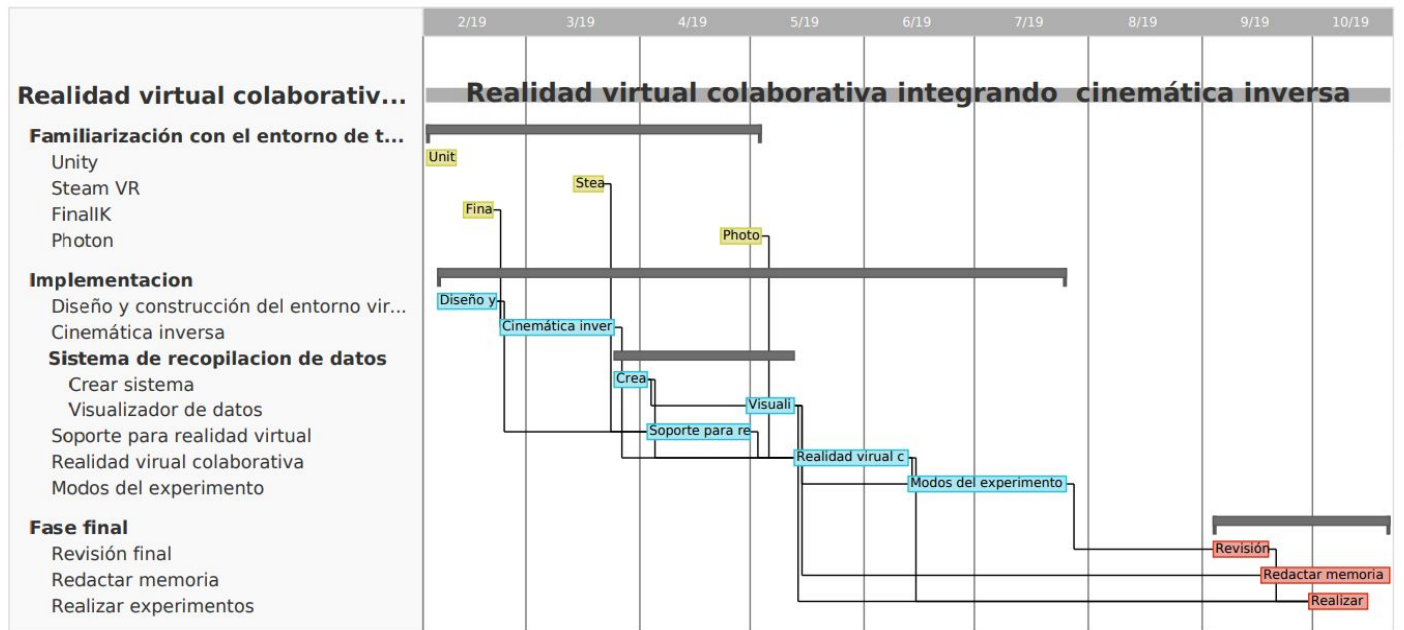


Figura B.1: Diagrama de Gantt del proyecto

Apéndice C

Interfaz de usuario

C.1 Inicio

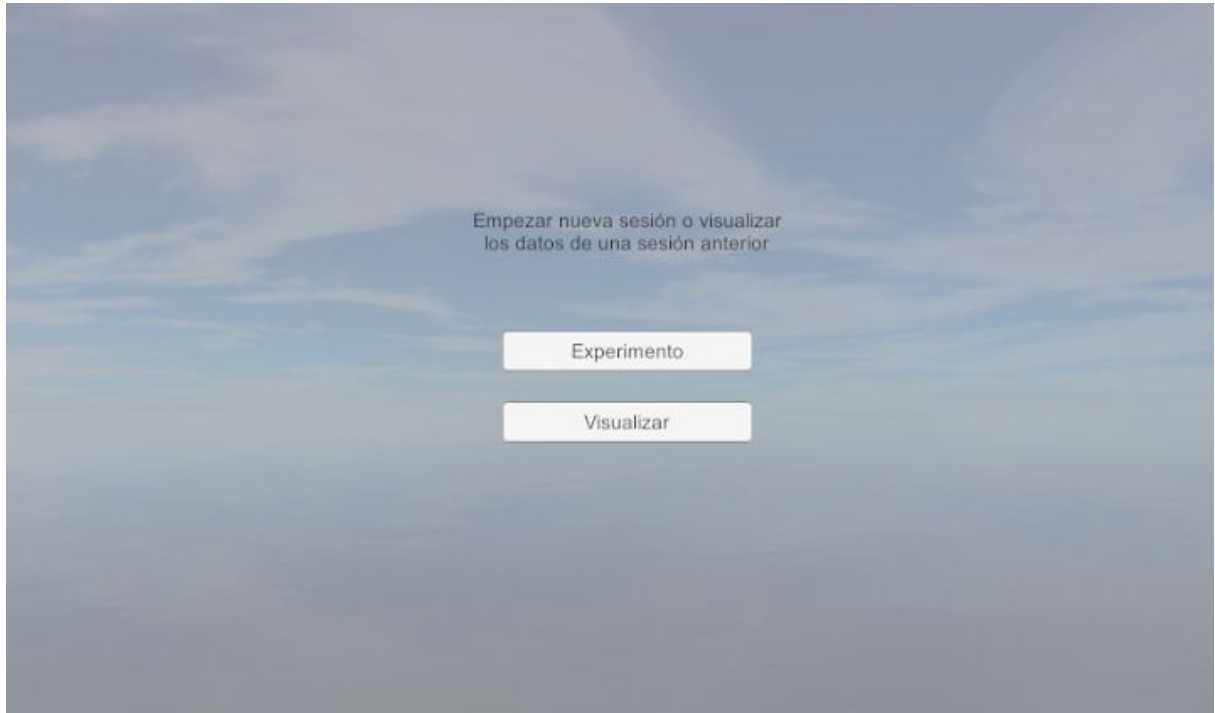


Figura C.1: Inicio

C.2 Menú de conexión

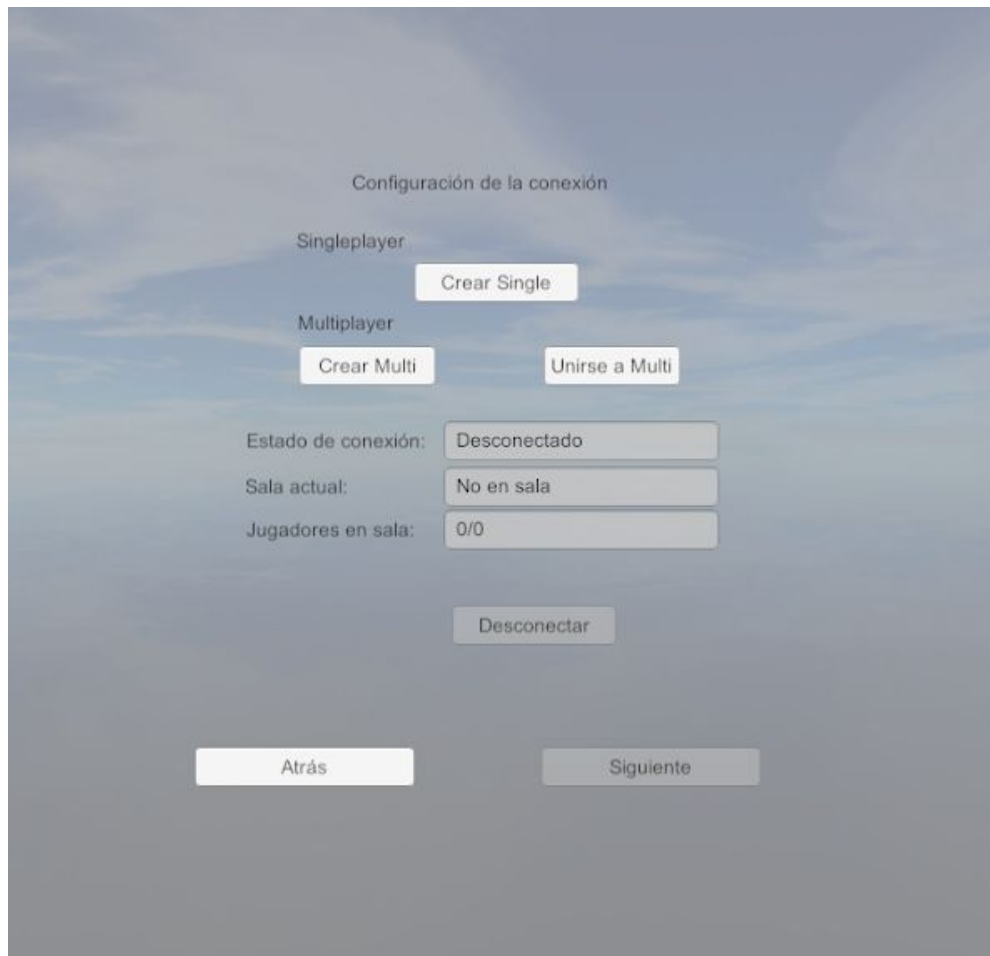


Figura C.2: Menú de conexión

C.3 Menú de visualización

Detalles de la visualización

Localizacion del fichero

Carpeta

Ruta completa de la carpeta, asegurate de que esta bien escrita

Nombre

El nombre del fichero .csv a visualizar sin la extensión

Mostrar obstáculo ☐

Reproduccion automática ☒

Atrás Empezar

Figura C.3: Menú de visualización

C.4 Configuración del experimento en solitario

Detalles de la sesión

Crear obstáculo: ☐

Usar avatar: ☒

Sincronizado: ☒

Opciones de recopilación de datos:

Nombre del fichero

Añadir indice: ☒

Reiniciar indice: ☐

Indice actual:

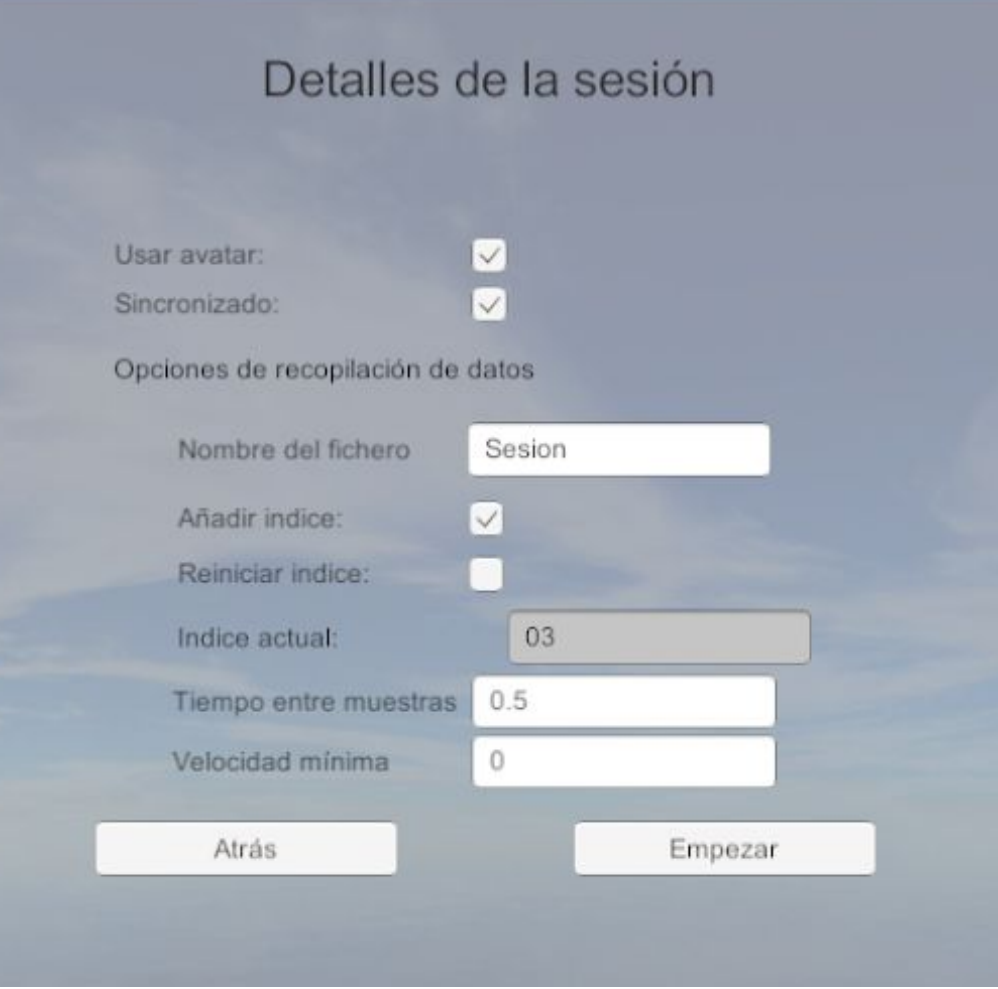
Tiempo entre muestras

Velocidad mínima

Atrás Empezar

Figura C.4: Configuración del experimento en solitario

C.5 Configuración de experimento multijugador master



Detalles de la sesión

Usar avatar: ☒

Sincronizado: ☒

Opciones de recopilación de datos

Nombre del fichero:

Añadir índice: ☒

Reiniciar índice: ☐

Índice actual:

Tiempo entre muestras:

Velocidad mínima:

Figura C.5: Configuración de experimento multijugador master

C.6 Configuración de experimento multijugador cliente

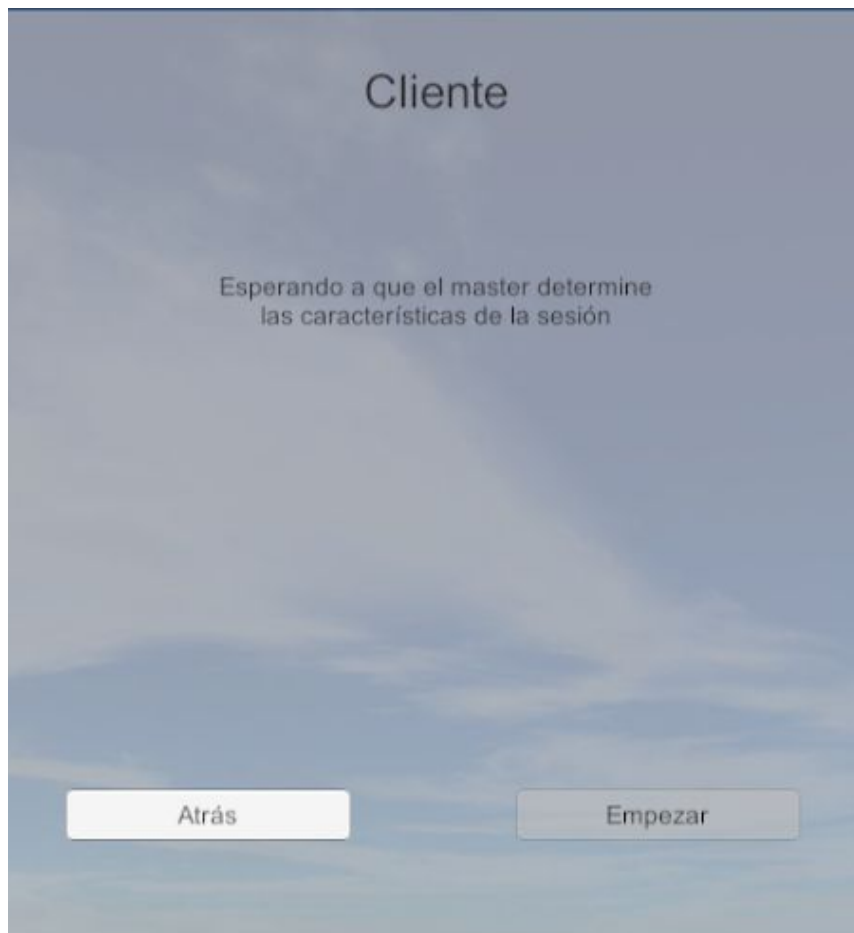


Figura C.6: Configuración de experimento multijugador cliente

C.7 Información de controles de cámara

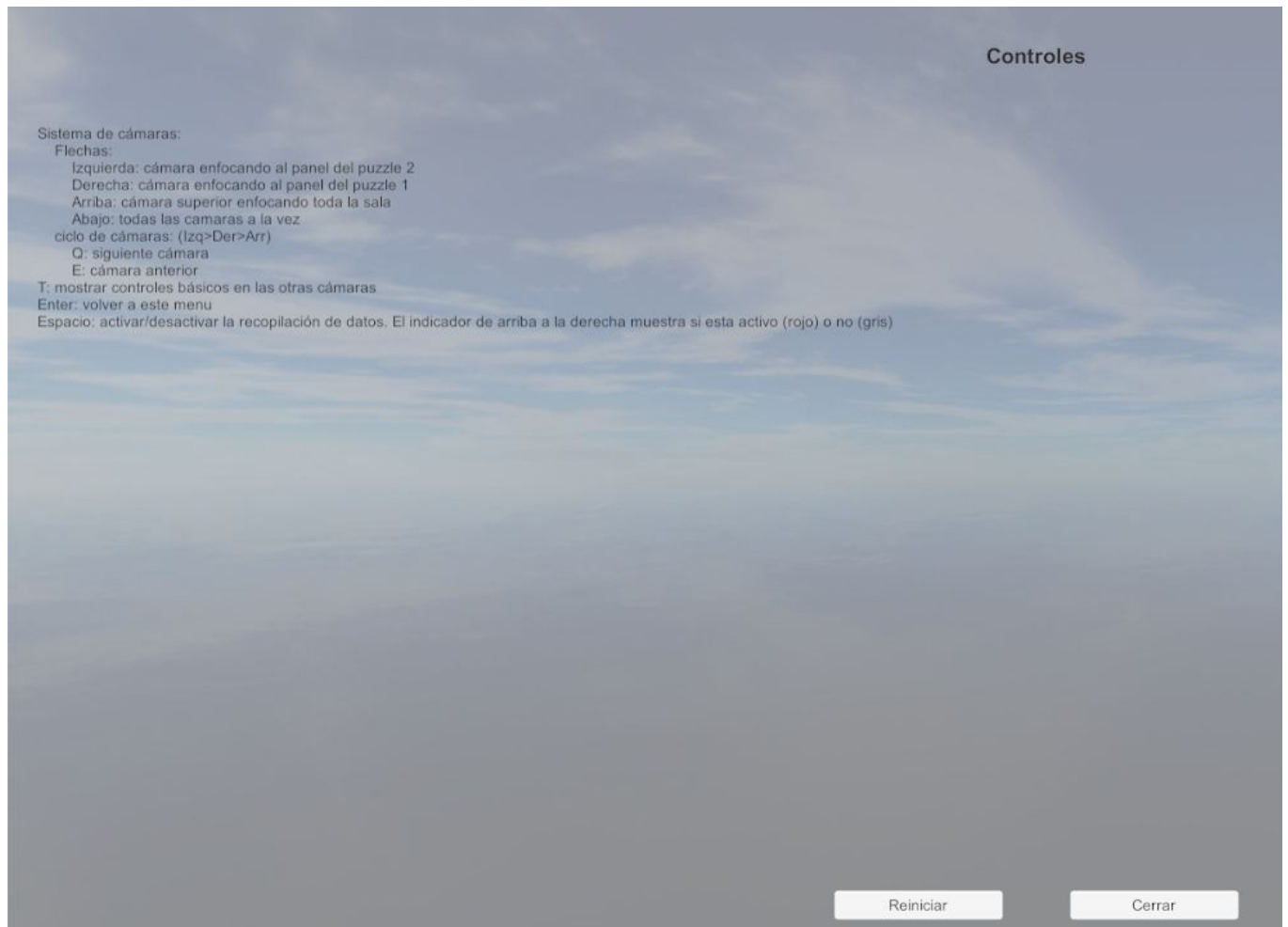


Figura C.7: Información de controles de cámara

C.8 Cámara superior



Figura C.8: Cámara superior

C.9 Cámara derecha



Figura C.9: Cámara derecha

C.10 Cámara izquierda



Figura C.10: Cámara izquierda

C.11 Multicámara

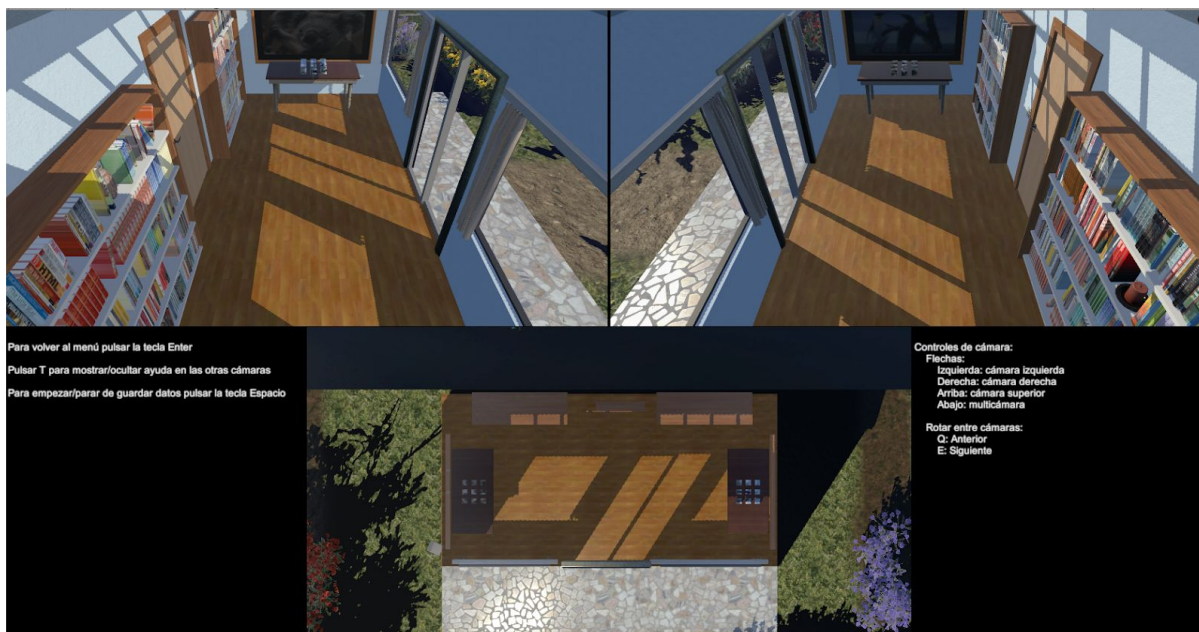


Figura C.11: Multicámara

Apéndice D

Menús para participantes

D.1 Menú para representación simbólica



Figura D.1: Menú para representación simbólica

D.2 Menú de selección de avatar



Figura D.2: Menú de selección de avatar

D.3 Menú de calibración de avatar

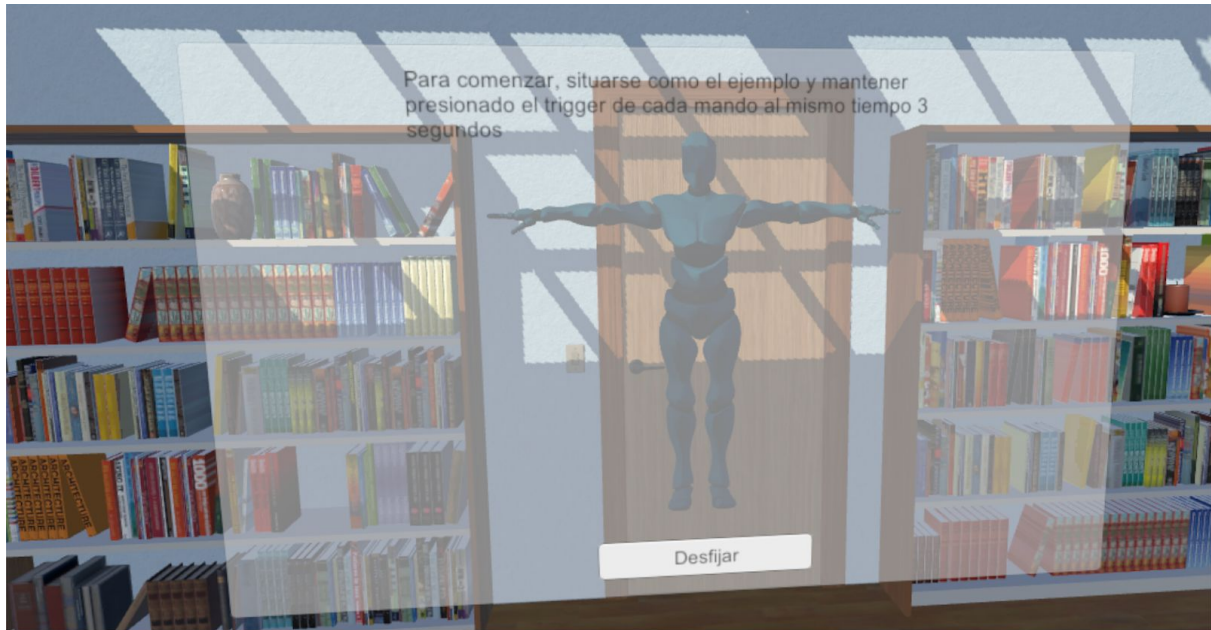


Figura D.3: Menú de calibración de avatar

Apéndice E

Avatares

E.1 Representación simbólica en uso



Figura E.1: Representación simbólica en uso

E.2 Avatares humanoides



Figura E.2: Avatares humanoides

E.3 Avatares humanoides en uso



Figura E.3: Avatares humanoides en uso

Apéndice F

Datos de experimentos de prueba

F.1 Visualización de datos de sesión en solitario

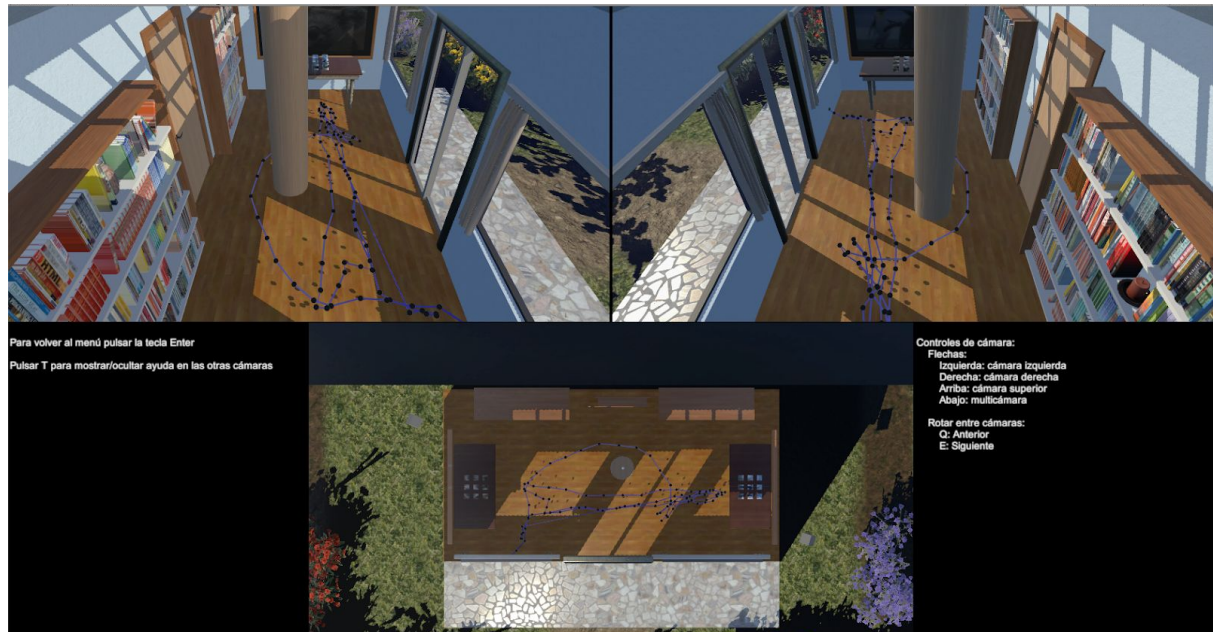


Figura F.1: Visualización de datos sesión en solitario

F.2 Tabla de datos de sesión en solitario

Time stamp	Con piezaJ1	Con piezaJ2	PosicionJ1	PosicionJ2	VelocidadJ 1	VelocidadJ 2	Distancia
0:0:0.00	False	False	(3.337019; 0.9573135)	(3.305501; 1.6797)	0	0	0.7230738 31644496
0:0:0.49	False	False	(1.392051; 0.5700261)	(3.305501; 1.6797)	0.1397168	0	2.2119374 7199315
0:0:0.99	False	False	(1.410037; 0.4547256)	(3.305501; 1.6797)	0.3156912	0	2.2568444 8345418
0:0:1.49	False	False	(1.380234; 0.3429055)	(3.305501; 1.6797)	0.1175095	0	2.3438586 2409952
0:0:1.99	False	False	(1.366246; 0.344144)	(3.305501; 1.6797)	0.0793260 4	0	2.3546594 4563116
0:0:2.49	False	False	(1.382193; 0.4279817)	(3.305501; 1.6797)	0.3116992	0	2.2947576 5119964
0:0:2.99	False	False	(1.51175; 0.7162877)	(3.305501; 1.6797)	0.6245344	0	2.0361012 3851652
0:0:3.49	False	False	(1.581671; 0.7982888)	(3.305501; 1.6797)	0.202563	0	1.9360984 1137986
0:0:3.99	False	False	(1.816422; 0.8211232)	(3.305501; 1.6797)	0.6070347	0	1.7188693 8615019
0:0:4.49	False	False	(2.110433; 0.8454197)	(3.305501; 1.6797)	0.6298372	0	1.4574681 3388374

0:0:4.99	False	False	(2.469382; 0.9275255)	(3.305501; 1.6797)	0.5595823	0	1.1246611 6002152
0:0:5.49	False	False	(2.828055; 0.8908817)	(3.305501; 1.6797)	0.8262131	0	0.9220571 29873846
0:0:5.99	False	False	(3.17938; 0.9163145)	(3.305501; 1.6797)	0.8414065	0	0.7737338 96685115
0:0:6.49	False	False	(3.522018; 0.9604637)	(3.305501; 1.6797)	0.6502822	0	0.7511195 95183181
0:0:6.99	False	False	(3.915079; 0.9609797)	(3.305501; 1.6797)	0.6203383	0	0.9424137 5893725
0:0:7.49	False	False	(4.285001; 1.044705)	(3.305501; 1.6797)	0.879695	0	1.1673206 8707053
0:0:7.99	False	False	(4.601895; 1.067407)	(3.305501; 1.6797)	0.6205432	0	1.4337155 8457418
0:0:8.49	False	False	(4.88296; 1.075991)	(3.305501; 1.6797)	0.5673775	0	1.6890355 1938397
0:0:8.99	False	False	(5.081705; 1.141201)	(3.305501; 1.6797)	0.295217	0	1.8560383 7110592
0:0:9.49	True	False	(5.17428; 1.174368)	(3.305501; 1.6797)	0.0044834 2	0	1.9358959 4088706
0:0:9.99	True	False	(5.072628; 1.16846)	(3.305501; 1.6797)	0.2441057	0	1.8395930 590814
0:0:10.49	True	False	(4.878645; 1.231443)	(3.305501; 1.6797)	0.4678248	0	1.6357611 4164966
0:0:10.99	True	False	(4.596942; 1.233403)	(3.305501; 1.6797)	0.5406699	0	1.3663818 1648508
0:0:11.49	True	False	(4.316201; 1.270831)	(3.305501; 1.6797)	0.6679834	0	1.0902697 1879016
0:0:11.99	True	False	(4.010381; 1.264772)	(3.305501; 1.6797)	0.7040067	0	0.8179363 16929547
0:0:12.49	True	False	(3.656982; 1.165319)	(3.305501; 1.6797)	0.5774901	0	0.6229978 11949847
0:0:12.99	True	False	(3.296645; 1.166344)	(3.305501; 1.6797)	0.6215578	0	0.5134324 7726411
0:0:13.49	True	False	(2.938263; 1.163109)	(3.305501; 1.6797)	0.8486895	0	0.6338220 54103443
0:0:13.99	True	False	(2.605768; 1.158781)	(3.305501; 1.6797)	0.6159956	0	0.8723440 35071505
0:0:14.49	True	False	(2.223513; 1.27191)	(3.305501; 1.6797)	0.6359639	0	1.1562831 3387511
0:0:14.99	True	False	(1.896495; 1.31099)	(3.305501; 1.6797)	0.6712068	0	1.4564497 9624377
0:0:15.49	True	False	(1.606459; 1.336086)	(3.305501; 1.6797)	0.4433357	0	1.7334401 8999758
0:0:15.99	False	False	(1.44209; 1.37849)	(3.305501; 1.6797)	0.244894	0	1.8875989 6829408

0:0:16.49	False	False	(1.432829; 1.283942)	(3.305501; 1.6797)	0.3319758	0	1.9140345 3463143
0:0:16.99	False	False	(1.652129; 1.166776)	(3.305501; 1.6797)	0.5138593	0	1.7311068 4432082
0:0:17.49	False	False	(1.794533; 1.097243)	(3.305501; 1.6797)	0.166123	0	1.6193464 3559935
0:0:17.99	False	False	(1.903893; 1.091373)	(3.305501; 1.6797)	0.3122545	0	1.5200772 588233
0:0:18.49	False	False	(1.859157; 0.9362247)	(3.305501; 1.6797)	0.5633178	0	1.6262434 5610562
0:0:18.99	False	False	(1.821874; 0.8286762)	(3.305501; 1.6797)	0.0929224 9	0	1.7103774 480385
0:0:19.49	False	False	(1.924559; 0.8365246)	(3.305501; 1.6797)	0.4351136	0	1.6180074 3242479
0:0:19.99	False	False	(2.32276; 0.9311982)	(3.305501; 1.6797)	0.6942496	0	1.2353279 7004727
0:0:20.49	False	False	(2.593028; 0.9372917)	(3.305501; 1.6797)	0.6487988	0	1.0289748 4865216
0:0:20.99	False	False	(2.918628; 0.8723532)	(3.305501; 1.6797)	0.6043742	0	0.8952543 54039209
0:0:21.49	False	False	(3.243215; 0.9335019)	(3.305501; 1.6797)	0.7930624	0	0.7487932 96958333
0:0:21.99	False	False	(3.598704; 0.9953291)	(3.305501; 1.6797)	0.8056818	0	0.7445343 81679667
0:0:22.49	False	False	(3.936033; 1.04061)	(3.305501; 1.6797)	0.6675921	0	0.8977786 15153208
0:0:22.99	False	False	(4.27986; 1.148286)	(3.305501; 1.6797)	0.7280207	0	1.1098532 1772491
0:0:23.49	False	False	(4.515852; 1.112872)	(3.305501; 1.6797)	0.5707836	0	1.3365043 156348
0:0:23.99	False	False	(4.71447; 1.002144)	(3.305501; 1.6797)	0.3899424	0	1.5634174 9822577
0:0:24.49	False	False	(4.862807; 1.029371)	(3.305501; 1.6797)	0.2791687	0	1.6876397 7785664
0:0:24.99	False	False	(5.005328; 1.05865)	(3.305501; 1.6797)	0.4134421	0	1.8097272 2997238
0:0:25.49	True	False	(5.106027; 1.192605)	(3.305501; 1.6797)	0.2903291	0	1.8652485 4731436
0:0:25.99	True	False	(4.85336; 1.175106)	(3.305501; 1.6797)	0.7065257	0	1.6280299 611529
0:0:26.49	True	False	(4.569741; 1.141048)	(3.305501; 1.6797)	0.4166406	0	1.3742077 5428975
0:0:26.99	True	False	(4.414494; 1.170809)	(3.305501; 1.6797)	0.3243504	0	1.2201782 3903796
0:0:27.49	True	False	(4.20394; 0.9943426)	(3.305501; 1.6797)	0.8707602	0	1.1300032 8751841

0:0:27.99	False	False	(4.008293; 0.8315027)	(3.305501; 1.6797)	0.4183038	0	1.1015239 8618515
0:0:28.49	False	False	(3.954631; 0.8139802)	(3.305501; 1.6797)	0.1290168	0	1.0820537 1662999
0:0:28.99	False	False	(4.142833; 0.9540451)	(3.305501; 1.6797)	0.7578452	0	1.1080157 5107031
0:0:29.49	False	False	(4.544192; 1.043104)	(3.305501; 1.6797)	0.5295394	0	1.3926985 1295199
0:0:29.99	False	False	(4.752025; 1.19583)	(3.305501; 1.6797)	0.621812	0	1.5253070 1815095
0:0:30.49	False	False	(4.950851; 1.261838)	(3.305501; 1.6797)	0.3980966	0	1.6975816 5800271
0:0:30.99	False	False	(5.169436; 1.216888)	(3.305501; 1.6797)	0.304375	0	1.9205334 0482993
0:0:31.49	True	False	(5.233781; 1.221006)	(3.305501; 1.6797)	0.0758304 1	0	1.9820852 7812936
0:0:31.99	True	False	(5.010242; 1.261048)	(3.305501; 1.6797)	0.6432121	0	1.7553948 919473
0:0:32.49	True	False	(4.759796; 1.237058)	(3.305501; 1.6797)	0.2290622	0	1.5201662 2762723
0:0:32.99	True	False	(4.507656; 1.108581)	(3.305501; 1.6797)	1.113917	0	1.3309218 2269321
0:0:33.49	False	False	(4.253702; 0.9068452)	(3.305501; 1.6797)	0.3542377	0	1.2232699 2377066
0:0:33.99	False	False	(4.148954; 0.7535036)	(3.305501; 1.6797)	0.3014258	0	1.2526979 4338191
0:0:34.49	False	False	(4.03374; 0.6824868)	(3.305501; 1.6797)	0.0993502 1	0	1.2348141 2602889
0:0:34.99	False	False	(4.123305; 0.7797306)	(3.305501; 1.6797)	0.3382757	0	1.2160379 9032101
0:0:35.49	False	False	(4.20725; 1.057092)	(3.305501; 1.6797)	0.7236503	0	1.0958059 7399063
0:0:35.99	False	False	(4.204309; 1.356356)	(3.305501; 1.6797)	0.5377603	0	0.9551990 86106789
0:0:36.49	False	False	(4.004937; 1.632012)	(3.305501; 1.6797)	0.6040899	0	0.7010595 58965197
0:0:36.99	False	False	(3.818099; 1.913426)	(3.305501; 1.6797)	0.617035	0	0.5633682 26062063
0:0:37.49	False	False	(3.557454; 2.064989)	(3.305501; 1.6797)	0.7757682	0	0.4603556 74866806
0:0:37.99	False	False	(3.226522; 2.107646)	(3.305501; 1.6797)	0.59141	0	0.4351723 41594134
0:0:38.49	False	False	(2.852677; 2.139903)	(3.305501; 1.6797)	0.6048835	0	0.6456293 71985872
0:0:38.99	False	False	(2.505469; 2.015034)	(3.305501; 1.6797)	0.8938535	0	0.8674683 16162668

0:0:39.49	False	False	(2.212714; 1.882967)	(3.305501; 1.6797)	0.5885272	0	1.1115315 640756
0:0:39.99	False	False	(1.925803; 1.768285)	(3.305501; 1.6797)	0.5029703	0	1.3825396 8360623
0:0:40.49	False	False	(1.667194; 1.579874)	(3.305501; 1.6797)	0.6895895	0	1.6413456 2395386
0:0:40.99	False	False	(1.506588; 1.398554)	(3.305501; 1.6797)	0.328093	0	1.8207509 2515505
0:0:41.49	False	False	(1.452942; 1.246311)	(3.305501; 1.6797)	0.4385868	0	1.9025779 6898128
0:0:41.99	False	False	(1.526398; 0.9797546)	(3.305501; 1.6797)	0.6206759	0	1.9118400 240004
0:0:42.49	False	False	(1.507139; 0.7454661)	(3.305501; 1.6797)	0.4676993	0	2.0265486 0891757
0:0:42.99	False	False	(1.451802; 0.5329968)	(3.305501; 1.6797)	0.5587714	0	2.1797089 5315875
0:0:43.49	False	False	(1.44369; 0.2964039)	(3.305501; 1.6797)	0.3260843	0	2.3194505 0602538
0:0:43.99	False	False	(1.282145; 0.1127229)	(3.305501; 1.6797)	0.5396214	0	2.5591774 0985186

Tabla F.2: Datos de sesión en solitario

F.3 Visualización de datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados

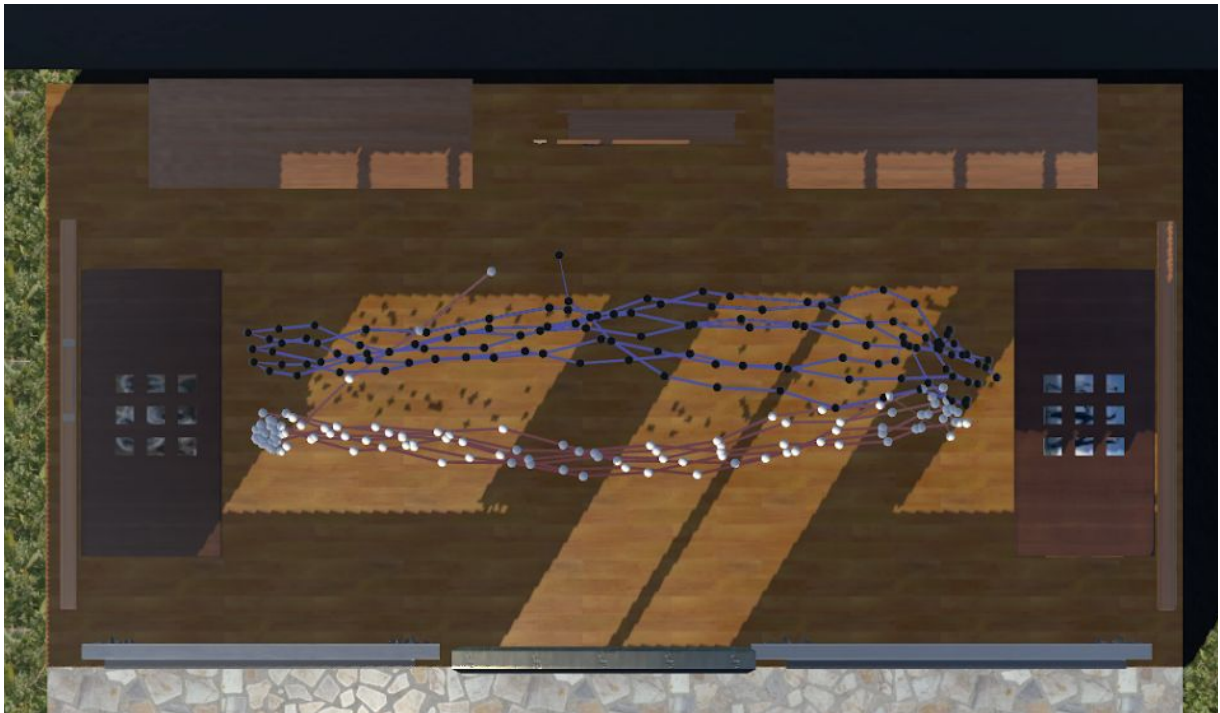


Figura F.3: Visualización de datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados

F.4 Tabla de datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados

Time stamp	Con piezaJ1	Con piezaJ2	PosicionJ1	PosicionJ2	VelocidadJ1	VelocidadJ2	Distancia
0:0:0.01	False	False	(2.824348; 1.906826)	(1.221277; 1.117737)	4.146748	0.6238819	1.78675738166193
0:0:0.50	False	False	(2.773276; 2.214566)	(1.201166; 1.174561)	0.3504074	0.00697337	1.88497744950591
0:0:1.00	False	False	(2.827639; 1.955709)	(1.200185; 1.17522)	0.3771371	0.009752581	1.80492857893862
0:0:1.50	False	False	(2.948995; 1.863934)	(1.195853; 1.178142)	0.3958029	0.00809483	1.88250287561254
0:0:2.00	False	False	(3.065504; 1.732229)	(1.197854; 1.183709)	0.4781873	0.00433094	1.94653302015889
0:0:2.50	False	False	(3.364289; 1.536765)	(1.192329; 1.18319)	0.6524716	0.006328844	2.20055061445527
0:0:3.00	False	False	(3.658859; 1.474127)	(1.194268; 1.182197)	0.6214057	0.007450343	2.48182038178445
0:0:3.50	False	False	(4.012072; 1.453922)	(1.197982; 1.180533)	0.58079	0.004926096	2.82733809786623
0:0:4.00	False	False	(4.320463; 1.358885)	(1.198306; 1.179818)	0.3815599	0	3.12728806400548
0:0:4.50	False	False	(4.589106; 1.415861)	(1.182994; 1.197255)	0.6621321	0.08506772	3.41311960748232
0:0:5.00	False	False	(4.796432; 1.463416)	(1.197054; 1.178735)	0.278715	0.1787066	3.61061878486887
0:0:5.50	False	False	(4.973106; 1.398411)	(1.253258; 1.146715)	0.3368156	0.0610937	3.72835370575345
0:0:6.00	False	False	(5.044801; 1.390362)	(1.173332; 1.128539)	0.09273212	0.159402	3.88031243795507
0:0:6.50	True	False	(5.055497; 1.40389)	(1.135778; 1.156017)	0.02887553	0.0487956	3.92754907586912
0:0:7.00	True	True	(5.050969; 1.37584)	(1.129946; 1.171229)	0.08985735	0.008563256	3.92635775535678
0:0:7.50	True	True	(4.949264; 1.40746)	(1.155919; 1.146871)	0.4501086	0.04445972	3.80228510325851
0:0:8.00	True	True	(4.840086; 1.499477)	(1.102594; 1.235917)	0.3187429	0.1638648	3.74677363935186
0:0:8.50	True	True	(4.733478; 1.704046)	(1.162455; 1.257394)	0.4100031	0.3541132	3.59884685112863
0:0:9.00	True	True	(4.698583; 1.755545)	(1.404005; 1.194103)	0.07615333	0.5416677	3.34207469562858

0:0:9.50	True	True	(4.655478; 1.622441)	(1.697989; 1.179235)	0.187301	0.648968 6	2.9905132214 9852
0:0:10.00	True	True	(4.560947; 1.604468)	(1.89983; 1.196006)	0.335667 8	0.244304 6	2.6922827062 4941
0:0:10.50	True	True	(4.361732; 1.639792)	(1.922618; 1.152238)	0.491531 5	0.102116 4	2.4873649832 3608
0:0:11.00	True	True	(4.053816; 1.575841)	(1.95956; 1.158527)	0.618784	0.257895 5	2.1354293471 4583
0:0:11.50	True	True	(3.802842; 1.594547)	(2.145319; 1.189739)	0.558890 7	0.382974 1	1.7062387506 9323
0:0:12.00	True	True	(3.505876; 1.662426)	(2.44586; 1.097795)	0.483288 2	0.700394 6	1.2010165054 2751
0:0:12.50	True	True	(3.164847; 1.626698)	(2.798534; 1.013729)	0.806896 6	0.780504 6	0.7140846094 35752
0:0:13.00	True	True	(2.891098; 1.608362)	(3.147298; 1.027283)	0.485799 2	0.608050 2	0.6350517712 45189
0:0:13.50	True	True	(2.58371; 1.676671)	(3.547207; 0.9883509)	0.629616 2	0.863623	1.1841075271 3427
0:0:14.00	True	True	(2.254228; 1.642544)	(3.929079; 1.078911)	0.980693 3	0.946021 5	1.7671466064 4257
0:0:14.50	True	True	(1.934512; 1.611048)	(4.236124; 1.171634)	0.774752 2	0.747220 2	2.3431818179 1498
0:0:15.00	True	True	(1.607169; 1.62747)	(4.580959; 1.216229)	0.462744 9	0.695899 4	3.0020908741 408
0:0:15.50	True	False	(1.306772; 1.539643)	(4.797069; 1.321275)	0.534691 7	0.477510 2	3.4971212308 2
0:0:16.00	False	False	(1.152161; 1.565652)	(4.940249; 1.352322)	0.288320 5	0.265971 3	3.7940907796 9008
0:0:16.50	False	False	(1.064865; 1.615849)	(5.00037; 1.334724)	0.049648 01	0.066478 45	3.9455324023 1821
0:0:17.00	False	False	(1.221117; 1.6013)	(4.939991; 1.401619)	0.470639 6	0.213323 1	3.7242307071 3985
0:0:17.50	False	False	(1.361639; 1.602309)	(4.920613; 1.472902)	0.258795 9	0.097104 85	3.5613261503 0504
0:0:18.00	False	False	(1.547691; 1.557456)	(4.80484; 1.46562)	0.298869 3	0.420532 2	3.2584426926 917
0:0:18.50	False	False	(1.800307; 1.566587)	(4.569392; 1.374538)	0.682922 5	0.573876	2.7757367409 7221
0:0:19.00	False	False	(2.081354; 1.632845)	(4.244678; 1.350184)	0.524744 4	0.783892 7	2.1817118499 1949
0:0:19.50	False	False	(2.409515; 1.640378)	(3.966945; 1.312937)	0.765420 5	0.668084 8	1.5914788196 9479
0:0:20.00	False	False	(2.684107; 1.662587)	(3.658662; 1.175756)	0.476903 7	0.592105 3	1.0893856778 8676
0:0:20.50	False	False	(3.008984; 1.742801)	(3.319467; 1.119704)	0.494312 3	0.574788 2	0.6961680300 50621

0:0:21.00	False	False	(3.326224; 1.676363)	(2.972855; 1.106643)	0.654796 6	0.671419 7	0.6704112187 06608
0:0:21.50	False	False	(3.65026; 1.603057)	(2.604971; 1.072606)	0.657213 2	0.595365 3	1.1721804454 9963
0:0:22.00	False	False	(4.00247; 1.591)	(2.236358; 1.171844)	0.407297 8	0.786089 9	1.8151700311 1304
0:0:22.50	False	False	(4.397115; 1.518715)	(1.899948; 1.203627)	0.813756	0.757886 3	2.5169671871 2746
0:0:23.00	False	False	(4.689549; 1.522855)	(1.580629; 1.203121)	0.592908 1	0.638290 3	3.1253182794 7762
0:0:23.50	False	False	(4.977837; 1.534462)	(1.288639; 1.304903)	0.503491 8	0.609242 4	3.6963323710 6887
0:0:24.00	True	True	(5.117531; 1.494251)	(1.119781; 1.33154)	0.212355 4	0.210016 5	4.0010600053 273
0:0:24.50	True	True	(5.064086; 1.503721)	(1.081888; 1.237831)	0.190539 3	0.171419 5	3.9910649318 4127
0:0:25.00	True	True	(4.940279; 1.575506)	(1.115362; 1.184449)	0.381143 3	0.048406 76	3.8448553047 998
0:0:25.50	True	True	(4.825935; 1.75097)	(1.106909; 1.256932)	0.392346 4	0.222028 7	3.7516965237 8561
0:0:26.00	True	True	(4.644134; 1.840935)	(1.176046; 1.278719)	0.467016 3	0.107355 4	3.5133631335 4049
0:0:26.50	True	True	(4.323314; 1.829214)	(1.240014; 1.218837)	0.545092 2	0.278221 5	3.1431347791 7152
0:0:27.00	True	True	(4.099711; 1.824808)	(1.498054; 1.217315)	0.620563 6	0.739193 3	2.6716421983 0188
0:0:27.50	True	True	(3.792002; 1.854543)	(1.789682; 1.141538)	0.503507 6	0.847546	2.1254796525 931
0:0:28.00	True	True	(3.526494; 1.827432)	(2.121361; 1.056332)	0.627667 1	0.609696 4	1.6028086520 1916
0:0:28.50	True	True	(3.232852; 1.758505)	(2.510121; 1.05277)	0.573604	0.901733 2	1.0101502214 7048
0:0:29.00	True	True	(2.924567; 1.805211)	(2.910234; 0.9782897)	0.686302 2	0.894245	0.8270454321 57062
0:0:29.50	True	True	(2.668121; 1.790937)	(3.273079; 0.9996564)	0.561737 2	0.650152 9	0.9960417573 92381
0:0:30.00	True	True	(2.354687; 1.695203)	(3.686729; 1.092564)	0.624869 3	0.895277 2	1.4620228726 4362
0:0:30.50	True	True	(2.019127; 1.690405)	(4.09602; 1.117525)	0.602591 5	0.724579	2.1544548552 9791
0:0:31.00	True	True	(1.699629; 1.663064)	(4.616975; 1.424873)	0.758840 5	1.581946	2.9270529346 9444
0:0:31.50	True	True	(1.439769; 1.615698)	(4.961269; 1.201437)	0.368320 8	0.932830 9	3.5457831789 8784
0:0:32.00	False	False	(1.168651; 1.673242)	(4.920158; 1.299765)	0.601127 3	0.332367 9	3.7700519699 2761

0:0:32.50	False	False	(1.056626; 1.687636)	(4.968286; 1.352339)	0.042504 66	0.083237 9	3.9260045201 3041
0:0:33.00	False	False	(1.22117; 1.720368)	(4.875294; 1.383142)	0.383427 9	0.134906 8	3.6696523047 6314
0:0:33.50	False	False	(1.358625; 1.748492)	(4.857911; 1.420149)	0.216036 7	0.033511 51	3.5146563052 7083
0:0:34.00	False	False	(1.533478; 1.66278)	(4.836004; 1.324571)	0.548127 1	0.224125 4	3.3197988983 4275
0:0:34.50	False	False	(1.710589; 1.62666)	(4.768078; 1.242803)	0.356142 5	0.243387 3	3.0814914885 1567
0:0:35.00	False	False	(1.968736; 1.714695)	(4.581242; 1.249443)	0.407234 5	0.474219	2.6536100954 1401
0:0:35.50	False	False	(2.232713; 1.785949)	(4.323742; 1.235167)	0.597536 2	0.614078 9	2.1623516404 5828
0:0:36.00	False	False	(2.558363; 1.763937)	(4.049517; 1.111156)	0.494352 7	0.465665 3	1.6277779431 9789
0:0:36.50	False	False	(2.866437; 1.830628)	(3.758631; 1.050237)	0.836484	0.770788 1	1.1853358459 9707
0:0:37.00	False	False	(3.176406; 1.889553)	(3.467417; 1.060239)	0.574232 2	0.570192 9	0.8788900683 62293
0:0:37.50	False	False	(3.500659; 1.819585)	(3.09989; 1.063265)	0.633696 6	0.830214 3	0.8559413234 55895
0:0:38.00	False	False	(3.839568; 1.809347)	(2.797616; 1.152749)	0.871903 5	0.756569	1.2315783779 7897
0:0:38.50	False	False	(4.144611; 1.815066)	(2.462576; 1.244161)	0.469616 8	0.831455 9	1.7762809384 4111
0:0:39.00	False	False	(4.491834; 1.707883)	(2.098441; 1.225856)	0.563732 6	0.608574	2.4414501269 0659
0:0:39.50	False	False	(4.773894; 1.694499)	(1.750638; 1.254603)	0.444490 4	0.767804 4	3.0550923568 8317
0:0:40.00	False	False	(5.031662; 1.655668)	(1.467384; 1.246094)	0.542098 3	0.560829	3.5877334640 1488
0:0:40.50	True	False	(5.176285; 1.626671)	(1.191603; 1.166798)	0.083819 84	0.599766 2	4.0111312352 0821
0:0:41.00	True	True	(5.056722; 1.658683)	(1.117109; 1.159575)	0.486447 1	0.070329 32	3.9711029349 8215
0:0:41.50	True	True	(4.902043; 1.728892)	(1.167086; 1.168587)	0.241340 3	0.085094 19	3.7767511325 7071
0:0:42.00	True	True	(4.762574; 1.941949)	(1.158458; 1.292538)	0.516718 3	0.121132 2	3.6621562217 0054
0:0:42.50	True	True	(4.588783; 2.019262)	(1.249453; 1.328869)	0.434609 2	0.305985 3	3.4099519971 0579
0:0:43.00	True	True	(4.327881; 1.962854)	(1.534993; 1.257651)	0.372789	0.680627 2	2.8805441583 2128
0:0:43.50	True	True	(4.163813; 1.950641)	(1.825303; 1.221932)	0.413929 8	0.570746 1	2.4494167576 7728

0:0:44.00	True	True	(3.731054; 1.983058)	(2.161811; 1.206986)	0.851249	0.622756 1	1.7506603371 704
0:0:44.50	True	True	(3.578051; 2.011088)	(2.538549; 1.124131)	0.199953 3	0.796357 3	1.3664761052 0782
0:0:45.00	True	True	(3.341905; 1.938748)	(2.887353; 1.116987)	0.646561 7	0.692227	0.9390997959 94888
0:0:45.50	True	True	(3.080084; 1.882501)	(3.285365; 1.151327)	0.557718 6	0.915947 7	0.7594449126 05705
0:0:46.00	True	True	(2.719357; 1.91987)	(3.678707; 1.114517)	0.816400 8	0.785025 5	1.2525750321 9336
0:0:46.50	True	True	(2.383805; 1.856503)	(4.031696; 1.157517)	0.705856 4	0.666557 4	1.7900072805 9037
0:0:47.00	True	True	(2.031255; 1.7826)	(4.339831; 1.155154)	0.798353 2	0.616934 1	2.3923227195 275
0:0:47.50	True	True	(1.693838; 1.797544)	(4.611273; 1.171855)	0.632057 5	0.666956 5	2.9837750145 3093
0:0:48.00	True	False	(1.420377; 1.720712)	(4.796516; 1.248011)	0.392163 6	0.373638 2	3.4090702064 5675
0:0:48.50	False	False	(1.152075; 1.743764)	(5.007175; 1.277271)	0.648592	0.319934 9	3.8832215908 7138
0:0:49.00	False	False	(1.032856; 1.779727)	(5.052395; 1.274531)	0.034934 46	0.059156 95	4.0511626593 2657
0:0:49.50	False	False	(1.204281; 1.800859)	(4.988301; 1.280487)	0.447963 4	0.147076 6	3.8196328245 9463
0:0:50.00	False	False	(1.405509; 1.820795)	(4.943822; 1.334843)	0.366802 3	0.175941 3	3.5715278734 1171
0:0:50.50	False	False	(1.660421; 1.708945)	(4.875944; 1.386938)	0.549811 1	0.271406 5	3.2316055986 8948
0:0:51.00	False	False	(1.824678; 1.671709)	(4.634516; 1.334286)	0.407410 9	0.743261 6	2.8300260621 3011
0:0:51.50	False	False	(2.15047; 1.751075)	(4.346908; 1.283005)	0.600201 7	0.560790 4	2.2457574474 9197
0:0:52.00	False	False	(2.383025; 1.803876)	(4.042919; 1.278049)	0.466149 8	0.495480 2	1.7411900915 2306
0:0:52.50	False	False	(2.709412; 1.812644)	(3.679109; 1.148817)	0.559003 4	0.939176 5	1.1751500701 0074

Tabla F.4: Datos de sesión multiusuario con avatares sincronizados

F.5 Visualización de datos de sesión multiusuario con avatares desincronizados

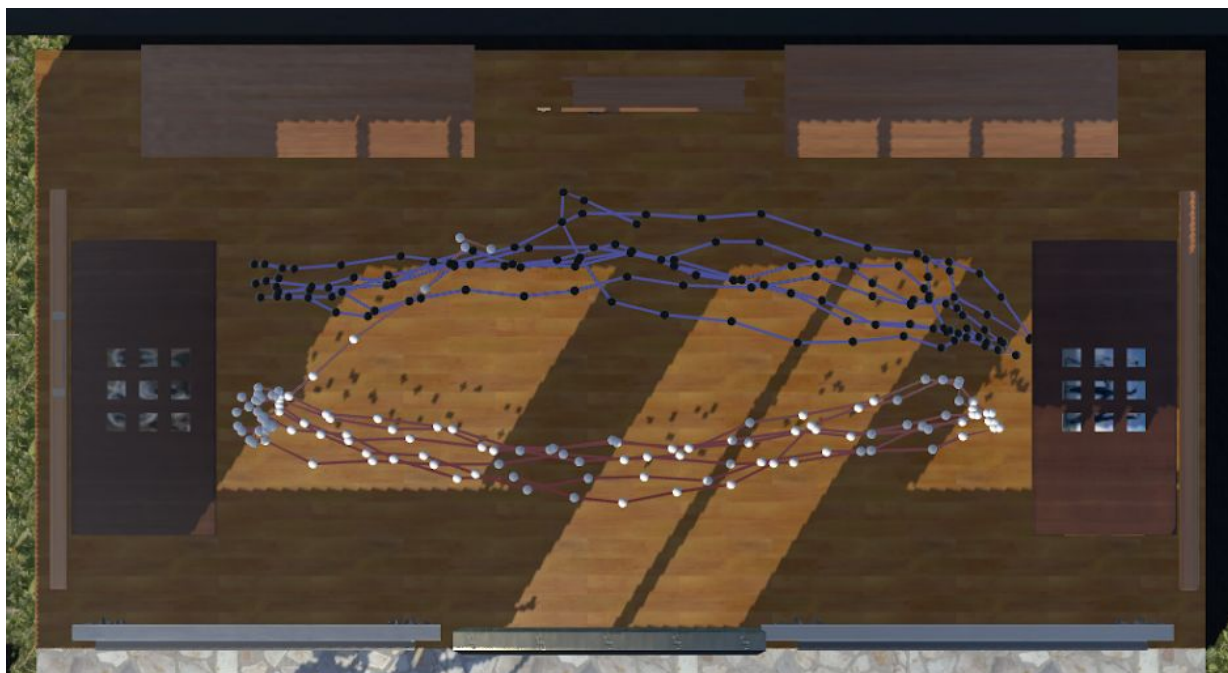


Figura F.5: Visualización de datos de sesión multiusuario con avatares desincronizados

F.6 Tabla de datos de sesión multiusuario con avatares desincronizados

Time stamp	Con piezaJ1	Con piezaJ2	PosicionJ1	PosicionJ2	VelocidadJ 1	VelocidadJ 2	Distancia
0:0:0.01	False	False	(3.171783; 2.223379)	(2.212855; 2.147004)	3.138521	1.784469	0.9619642 77493863
0:0:0.50	False	False	(2.885129; 2.352912)	(2.380401; 2.085591)	0.0137887 6	2.384186E- 06	0.5711488 37902521
0:1:45.00	False	False	(2.77269; 2.397514)	(1.174246; 1.115385)	0.0586072 5	2.384186E- 06	2.0491157 4223362
0:1:45.50	False	False	(2.764078; 2.234605)	(1.186429; 1.125408)	0.4373882	0.0946668 4	1.9285471 2488873
0:1:46.00	False	False	(2.863956; 2.040574)	(1.194662; 1.124813)	0.5340495	0.0415417 3	1.9039857 223815
0:1:46.50	False	False	(3.035175; 1.799247)	(1.178983; 1.124005)	0.4624099	0.0157739 3	1.9751961 8232165
0:1:47.00	False	False	(3.323221; 1.728614)	(1.175415; 1.12684)	0.8200959	0	2.2305156 5769159
0:1:47.50	False	False	(3.68692; 1.69209)	(1.170854; 1.128366)	0.6474327	0.0148547 9	2.5784439 0164198

0:1:48.00	False	False	(4.046609; 1.576001)	(1.169705; 1.12905)	0.7064693	0.0085490 88	2.9114162 2624302
0:1:48.50	False	False	(4.346528; 1.582038)	(1.167359; 1.133075)	0.5624138	0.0083476 56	3.2107136 2646087
0:1:49.00	False	False	(4.622349; 1.611397)	(1.163687; 1.133024)	0.5021924	0.0082231 96	3.4915878 9867685
0:1:49.50	False	False	(4.828054; 1.548156)	(1.16582; 1.134337)	0.2943949	0.0081671 62	3.6855397 4922247
0:1:50.00	False	False	(4.901047; 1.58753)	(1.166795; 1.135271)	0.1798787	0.0085956 28	3.7615392 7985328
0:1:50.50	False	False	(4.968965; 1.65534)	(1.148337; 1.158118)	0.1975095	0.1020076	3.8528461 3098005
0:1:51.00	False	False	(5.074925; 1.57683)	(1.199657; 1.118739)	0.227367	0.2302554	3.9022497 6563208
0:1:51.50	True	False	(5.135321; 1.537053)	(1.158389; 1.100466)	0.0635100 1	0.284727	4.0008245 5561015
0:1:52.00	True	False	(5.032278; 1.607791)	(1.007662; 1.123245)	0.3659711	0.1188059	4.0536795 7944769
0:1:52.50	True	True	(4.874525; 1.643012)	(1.029794; 1.094573)	0.2611012	0.2332474	3.8836501 9945937
0:1:53.00	True	True	(4.856733; 1.635636)	(1.121943; 1.095773)	0.1517182	0.1638114	3.7736071 8775366
0:1:53.50	True	True	(4.944376; 1.725509)	(1.147653; 1.174795)	0.192776	0.1686528	3.8364555 4309367
0:1:54.00	True	True	(4.853539; 1.78883)	(1.232182; 1.203251)	0.417207	0.2403527	3.6683952 5553978
0:1:54.50	True	True	(4.661201; 1.789124)	(1.458323; 1.078183)	0.3211336	0.6911793	3.2808339 3419701
0:1:55.00	True	True	(4.452458; 1.901077)	(1.70643; 0.9761519)	0.7548202	0.5266476	2.8976125 1624403
0:1:55.50	True	True	(4.272269; 2.027599)	(2.015975; 0.9637064)	0.2254264	0.7360756	2.4945402 1823783
0:1:56.00	True	True	(4.015944; 1.99521)	(2.298342; 0.8634198)	0.8003852	0.7383356	2.0569654 5254672
0:1:56.50	True	True	(3.740881; 1.919746)	(2.578283; 0.7761494)	0.4787214	0.6369928	1.6307811 4767743
0:1:57.00	True	True	(3.375886; 2.02718)	(2.909033; 0.8393984)	0.9272176	0.6423913	1.2762353 4539772
0:1:57.50	True	True	(3.138841; 2.065338)	(3.213058; 0.8480132)	0.4523279	0.6845379	1.2195854 471537
0:1:58.00	True	True	(2.837416; 1.992363)	(3.556068; 0.8260064)	0.4786501	0.4641372	1.3699814 2491254
0:1:58.50	True	True	(2.496074; 2.004453)	(3.847944; 0.9283748)	0.7431322	0.5696476	1.7278592 3871794
0:1:59.00	True	True	(2.177397; 2.00427)	(4.2033; 0.9844236)	0.8630517	1.029967	2.2681199 7442134

0:1:59.50	True	True	(1.812442; 1.888338)	(4.443383; 0.9900962)	0.5650197	0.4389386	2.7800519 2157471
0:2:0.00	True	True	(1.495653; 1.875456)	(4.722434; 1.122225)	0.7930087	0.9003587	3.3135289 3622136
0:2:0.50	False	False	(1.156458; 1.913403)	(4.938438; 1.147374)	0.3847663	0.3883008	3.8587785 1545856
0:2:1.00	False	False	(1.100577; 1.898566)	(5.083195; 1.151136)	0.1237813	0.2857426	4.0521476 7105614
0:2:1.50	False	False	(1.226358; 1.928244)	(4.995052; 1.217463)	0.2093779	0.3338203	3.8351360 9700549
0:2:2.00	False	False	(1.212509; 1.880623)	(4.921148; 1.260281)	0.1756084	0.165446	3.7601637 1675215
0:2:2.50	False	False	(1.218666; 1.838121)	(4.922491; 1.368091)	0.135408	0.107806	3.7335304 825811
0:2:3.00	False	False	(1.404703; 1.882288)	(4.832799; 1.37443)	0.3896484	0.3528665	3.4655108 4447088
0:2:3.50	False	False	(1.56869; 1.852951)	(4.586078; 1.264337)	0.5337094	0.4622247	3.0742636 9459142
0:2:4.00	False	False	(1.747637; 1.749456)	(4.376004; 1.2219)	0.2964216	0.4802385	2.6807890 5575508
0:2:4.50	False	False	(1.937164; 1.803866)	(4.119189; 1.127894)	0.6347082	0.4207591	2.2843317 7898724
0:2:5.00	False	False	(2.181253; 1.993971)	(3.915622; 0.9212713)	0.5202013	0.6513131	2.0392936 4468548
0:2:5.50	False	False	(2.45377; 1.995158)	(3.683823; 0.8053508)	0.5915309	0.5160497	1.7113359 6520636
0:2:6.00	False	False	(2.738943; 2.027444)	(3.3898; 0.764816)	0.5397662	0.5632678	1.4205082 0122947
0:2:6.50	False	False	(3.05485; 2.113935)	(3.096259; 0.7066356)	0.5307948	0.4608033	1.4079089 6302527
0:2:7.00	False	False	(3.375607; 1.993943)	(2.832778; 0.7342495)	0.5688062	0.5370257	1.3716748 0446766
0:2:7.50	False	False	(3.698018; 1.916689)	(2.504289; 0.84715)	0.9322165	0.6111981	1.6027794 9959718
0:2:8.00	False	False	(4.010353; 1.845743)	(2.197881; 0.8394107)	0.6092294	0.5914167	2.0731039 6511676
0:2:8.50	False	False	(4.318352; 1.694095)	(1.854213; 0.9442299)	0.5041705	0.8292722	2.5757086 6990438
0:2:9.00	False	False	(4.658003; 1.677861)	(1.599686; 1.076339)	0.6831083	0.5772952	3.1169109 4500505
0:2:9.50	False	False	(4.92045; 1.627839)	(1.300118; 1.102787)	0.6205947	0.6659503	3.6582078 8941009
0:2:10.00	False	False	(5.163665; 1.577491)	(1.113929; 1.201087)	0.3019806	0.4935759	4.0671907 1228315
0:2:10.50	True	True	(5.150414; 1.58747)	(1.028858; 1.281345)	0.2525308	0.0854962 5	4.1329091 8896005

0:2:11.00	True	True	(4.965152; 1.604195)	(1.000402; 1.198268)	0.4619724	0.0557585 8	3.9854759 7013181
0:2:11.50	True	True	(4.842406; 1.656465)	(1.066959; 1.227171)	0.291691	0.1819955	3.7997752 7667707
0:2:12.00	True	True	(4.734331; 1.870964)	(1.118084; 1.332492)	0.6367449	0.1219147	3.6561168 257239
0:2:12.50	True	True	(4.595652; 1.994662)	(1.228519; 1.314343)	0.3127727	0.368814	3.4351733 2378577
0:2:13.00	True	True	(4.347359; 1.995416)	(1.488778; 1.188018)	0.5032455	0.4705176	2.9704166 602435
0:2:13.50	True	True	(4.165188; 2.0066)	(1.768841; 1.1648)	0.5488319	0.6775345	2.5399031 625944
0:2:14.00	True	True	(3.84102; 2.125525)	(2.091807; 1.120186)	0.4862974	0.4139504	2.0175357 9668886
0:2:14.50	True	True	(3.601747; 2.125874)	(2.39625; 0.9912246)	0.6739152	0.6903492	1.6554916 2948772
0:2:15.00	True	True	(3.304887; 2.028352)	(2.701651; 0.9935561)	0.4628987	0.6349918	1.1977877 4398914
0:2:15.50	True	True	(2.937468; 2.096459)	(3.040053; 1.04583)	1.057021	0.7088385	1.0556260 4011077
0:2:16.00	True	True	(2.584477; 2.092436)	(3.36587; 1.001304)	0.8040265	0.7362648	1.3420668 6089612
0:2:16.50	True	True	(2.266818; 2.002618)	(3.689682; 1.046064)	0.5222201	0.6111772	1.7145086 7475457
0:2:17.00	True	True	(1.887968; 2.049067)	(4.03482; 1.096978)	0.8192911	0.5435031	2.3484986 0602043
0:2:17.50	True	True	(1.563677; 1.999862)	(4.334436; 1.06693)	0.7200152	0.6565842	2.9236054 1325354
0:2:18.00	False	True	(1.309403; 1.9793)	(4.639259; 1.130611)	0.6081875	0.4635223	3.4363091 1956171
0:2:18.50	False	False	(1.092654; 2.004217)	(4.84918; 1.181308)	0.1626229	0.360844	3.8456036 5304941
0:2:19.00	False	False	(1.148781; 2.004032)	(5.022238; 1.184535)	0.3309057	0.287901	3.9591976 3895361
0:2:19.50	False	False	(1.245425; 1.982612)	(5.075104; 1.195018)	0.156167	0.1216954	3.9098262 8873547
0:2:20.00	False	False	(1.224414; 1.852649)	(4.998049; 1.255647)	0.2102674	0.1892233	3.8205675 0697535
0:2:20.50	False	False	(1.395361; 1.863904)	(4.916898; 1.349579)	0.5105407	0.2431094	3.5588975 9335423
0:2:21.00	False	False	(1.633013; 1.932714)	(4.738626; 1.377604)	0.5713894	0.4691605	3.1548341 6707695
0:2:21.50	False	False	(1.844115; 1.897678)	(4.458962; 1.25979)	0.351883	0.5899974	2.6915290 6443236
0:2:22.00	False	False	(2.065052; 2.016942)	(4.074055; 1.183023)	0.752367	0.7857285	2.1752044 7841629

0:2:22.50	False	False	(2.281039; 2.079023)	(3.785079; 1.141653)	0.4346793	0.5407519	1.7722295 8597069
0:2:23.00	False	False	(2.541114; 1.987634)	(3.407528; 0.9658067)	0.4942037	1.032611	1.3397030 4845113
0:2:23.50	False	False	(2.85257; 2.023432)	(3.104441; 0.9402805)	0.9805354	0.8090866	1.1120499 6121446
0:2:24.00	False	False	(3.145704; 2.077601)	(2.774096; 0.9700919)	0.5746686	0.677147	1.1681905 9533195
0:2:24.50	False	False	(3.493839; 1.944981)	(2.423916; 0.9164242)	0.5173678	0.6042597	1.4841374 8703381
0:2:25.00	False	False	(3.863272; 1.892132)	(2.073153; 0.9143648)	0.8772647	0.7713183	2.0397441 2623474
0:2:25.50	False	False	(4.178963; 1.80654)	(1.739542; 0.9343262)	0.6559168	0.4829778	2.5906621 0215203
0:2:26.00	False	False	(4.469387; 1.674327)	(1.415159; 0.9178777)	0.4603835	0.6744335	3.1465101 2557887
0:2:26.50	False	False	(4.784749; 1.653739)	(1.156745; 1.04499)	0.6325359	0.3633388	3.6787207 6894055
0:2:27.00	False	True	(5.065944; 1.558316)	(1.072534; 1.046321)	0.6581374	0.1670011	4.0260970 3219942
0:2:27.50	True	True	(5.233407; 1.507882)	(1.091302; 1.032566)	0.0822066 9	0.1459044	4.1692877 8968707
0:2:28.00	True	True	(5.063741; 1.647531)	(1.136329; 1.166537)	0.6195392	0.4927795	3.9567563 384215
0:2:28.50	True	True	(4.913172; 1.764698)	(1.117947; 1.26008)	0.3681198	0.1326136	3.8286260 338932
0:2:29.00	True	True	(4.872596; 1.967739)	(1.232492; 1.265332)	0.3324922	0.4366004	3.7072538 6614664
0:2:29.50	True	True	(4.697878; 2.06266)	(1.508847; 1.166458)	0.5164615	0.5692711	3.3125661 5879307
0:2:30.00	True	True	(4.428636; 2.094862)	(1.846474; 1.106284)	0.3586057	0.8763029	2.7649322 0949268
0:2:30.50	True	True	(4.156797; 2.176194)	(2.173228; 1.107665)	0.6932104	0.5698523	2.2530652 4944363
0:2:31.00	True	True	(3.849693; 2.278726)	(2.538701; 0.9900714)	0.5632623	0.8989535	1.8382956 5843215
0:2:31.50	True	True	(3.52442; 2.254773)	(2.860428; 0.9294388)	0.5487791	0.6457791	1.4823617 8934526
0:2:32.00	True	True	(3.222683; 2.275107)	(3.230687; 0.956053)	0.6808672	0.6762392	1.3190784 1173399
0:2:32.50	True	True	(2.875483; 2.280596)	(3.681004; 0.9171238)	0.5805886	1.305686	1.5836416 0132347
0:2:33.00	True	True	(2.507546; 2.09731)	(4.024175; 0.9257975)	0.7931958	0.88635	1.9164042 1258658
0:2:33.50	True	True	(2.157784; 2.006781)	(4.387786; 0.9860026)	0.7469179	0.6181477	2.4525286 3688522

0:2:34.00	True	True	(1.822412; 1.942009)	(4.776829; 0.9970517)	0.8203411	0.7784835	3.1018578 6158908
0:2:34.50	True	False	(1.514043; 1.826503)	(4.94225; 1.068139)	0.4699081	0.3205555	3.5110850 7571778
0:2:35.00	False	False	(1.217286; 1.828228)	(5.140257; 1.114865)	0.6124654	0.2879944	3.9873036 5419468
0:2:35.50	False	False	(1.127112; 1.823559)	(5.111045; 1.114439)	0.0943231 7	0.1127745	4.0465514 7605575
0:2:36.00	False	False	(1.277796; 1.825968)	(5.112576; 1.144284)	0.4252098	0.123731	3.8948984 8834805
0:2:36.50	False	False	(1.385439; 1.821742)	(5.098088; 1.194487)	0.2439695	0.1048585	3.7652636 7725876
0:2:37.00	False	False	(1.537349; 1.741156)	(4.997196; 1.187703)	0.430779	0.3264217	3.5038341 3001376
0:2:37.50	False	False	(1.712185; 1.719814)	(4.753992; 1.105494)	0.3516377	0.4810874	3.1032211 4094932
0:2:38.00	False	False	(1.998718; 1.819013)	(4.445652; 1.079054)	0.7665036	0.5265952	2.5563689 8488467
0:2:38.50	False	False	(2.242979; 1.863361)	(4.144299; 1.106184)	0.6448491	0.6549698	2.0465419 9304881
0:2:39.00	False	False	(2.559921; 1.82942)	(3.779105; 1.033737)	0.4217086	0.4807502	1.4558575 1896077
0:2:39.50	False	False	(2.835392; 1.859003)	(3.455324; 1.004443)	0.7568658	0.8238672	1.0557408 4171395
0:2:40.00	False	False	(3.120367; 1.936236)	(3.066012; 1.033237)	0.5280085	0.6553184	0.9046334 63008588
0:2:40.50	False	False	(3.425252; 1.888836)	(2.719845; 1.001675)	0.7819839	0.9068367	1.1334248 2739249
0:2:41.00	False	False	(3.795465; 1.876674)	(2.333483; 1.009594)	0.744131	0.665666	1.6997711 0057193
0:2:41.50	False	False	(4.144181; 1.936383)	(1.941814; 1.056697)	0.4392718	1.093065	2.3715535 5488668
0:2:42.00	False	False	(4.452281; 1.829857)	(1.608977; 1.044707)	0.4970032	0.5246167	2.9497179 2893413
0:2:42.50	False	False	(4.663992; 1.78148)	(1.368901; 1.141096)	0.4198894	0.6021879	3.3567419 062222
0:2:43.00	False	False	(4.898293; 1.82609)	(1.232228; 1.235732)	0.2951587	0.3047201	3.7132943 7986327
0:2:43.50	False	False	(5.078431; 1.729142)	(1.116457; 1.299664)	0.459679	0.1595854	3.9851834 002917

Tabla F.6: Datos de sesión multiusuario con avatares desincronizados

Referencias

1. En.wikipedia.org. (2019) Virtual reality [en línea]. Disponible a través de internet <https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality>
2. Facultat d'Informàtica de Barcelona (2017) Realidad virtual [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/realitatvirtual.html>>
3. (2016) ¿Qué es la realidad virtual? - Historia, funcionamiento y gafas VR αα Mundo Virtual [en línea]. Disponible a través de internet <<http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/>>
4. Es.wikipedia.org (2019) Historia de la realidad virtual - Wikipedia, la enciclopedia libre[en línea]. Disponible a través de internet <https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_realidad_virtual>
5. Geeky camel (2018) All about the growing popularity of virtual reality | Geeky Camel [en línea]. Disponible a través de internet <<http://www.geekycamel.com/growing-popularity-virtual-reality/>>
6. Digital Trends (2018) Gaming is just the beginning. Here are 8 innovative ways VR is being used today | Digital Trends [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/virtual-reality-applications/>>
7. Virtual Reality Society (2017) Applications Of Virtual Reality - Virtual Reality Society[en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-applications/>>
8. [Business Insider].(2013, Diciembre 19) The “Virtuix Omni” Actually Lets You Run Around Video Games - YouTube [Archivo de video]. Recuperado de <<https://www.youtube.com/watch?v=ugn9YHyvtS8>>.
9. The Verge (2017) HTC launches Vive tracker bundles - The Verge[en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.theverge.com/circuitbreaker/2017/11/16/16664916/htc-vive-tracker-bundles-date-price>>
10. Virtual Reality Times (2017) List of Full Body VR Tracking Solutions – Virtual Reality Times [en línea]. Disponible a través de internet <<https://virtualrealitytimes.com/2017/02/21/list-of-full-body-vr-tracking-solutions/>>.
11. (2017) “VRChat” Is A Social Platform, A Dev Sandbox, And A Step In The Right Direction [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.tomshardware.com/news/vrchat-oculus-rift-htc-vive.33557.html>>

12. Heidicker P, Langbehn E, Steinicke F. Influence of avatar appearance on presence in social VR. In: 2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). IEEE; 2017:233-234. doi:10.1109/3DUI.2017.7893357
13. Kang J. Effect of Interaction Based on Augmented Context in Immersive Virtual Reality Environment. Wirel Pers Commun. 2018;98(2):1931-1940. doi:10.1007/s11277-017-4954-0
14. Wikiversidad (2019) Tecnologías multimedia e interacción/Realidad Virtual - Wikiversidad [en línea]. Disponible a través de internet <https://es.wikiversity.org/wiki/Tecnologías_multimedia_e_interacción/Realidad_Virtual#Entornos_virtuales_colaborativos>
15. En.wikipedia.org (2018) Inverse kinematics - Wikipedia[en línea]. Disponible a través de internet <https://en.wikipedia.org/wiki/Inverse_kinematics>
16. Significados (2019) Significado de Avatar (Qué es, Concepto y Definición) - Significados [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.significados.com/avatar/>>
17. Clearance | Definition of clearance by Merriam-Webster [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.merriam-webster.com/dictionary/clearance>>
18. En.wikipedia.org (2019) Virtual reality headset - Wikipedia [en línea]. Disponible a través de internet <https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality_headset>
19. En.wikipedia.org (2019) Head-mounted display - Wikipedia [en línea]. Disponible a través de internet <https://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display>
20. (2016) Vive | Base Station [en línea]. Disponible a través de internet <https://www.vive.com/us/accessory/base-station/>
21. (2017) Htc Vive Tracker: Rastrea tus accesorios favoritos y llévalos a La Realidad Virtual Barcelona[en línea]. Disponible a través de internet <<https://vivevirtual.es/producto/htc-vive-tracker-rastrea-tus-accesorios-favorito-s-y-llevalos-a-la-realidad-virtual/>>
22. (2017) Controlador HTC VIVE - Mando Inalámbrico Realidad Virtual Para HTC - Realidad Virtual Barcelona ✓ Madrid, España | Htc Vive | Gafas VR [en línea]. Disponible a través de internet <<https://vivevirtual.es/producto/controlador-htc-vive-mando-inalambrico-realidad-virtual-htc/>>
23. Jerald J, LaViola JJ, Marks R. VR interactions. In: ACM SIGGRAPH 2017 Courses on - SIGGRAPH '17. New York, New York, USA: ACM Press; 2017:1-105. doi:10.1145/3084873.3084900
24. Klauck R, Lorenz S, Hentschel C. Collaborative work in VR Systems: A software-independent exchange of avatar data. In: 2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin). IEEE; 2016:133-136. doi:10.1109/ICCE-Berlin.2016.7684738

25. Karakottas A, Papachristou A, Doumanoglou A, Zioulis N, Zarpalas D, Daras P. Augmented VR. In: 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). IEEE; 2018:1-1. doi:10.1109/VR.2018.8446561
26. Mousas C, Koiliias A, Anastasiou D, Rekabdar B, Anagnostopoulos C-N. Effects of Self-Avatar and Gaze on Avoidance Movement Behavior the 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces.; 2019.
27. Podkosova I, Kaufmann H. Mutual collision avoidance during walking in real and collaborative virtual environments. In: Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games - I3D '18. New York, New York, USA: ACM Press; 2018:1-9. doi:10.1145/3190834.3190845
28. Proyectos Ágiles (2019) Qué es SCRUM - Proyectos Ágiles [en línea]. Disponible a través de internet <<https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>>
29. (2018) TECNOLOGÍA TENDENCIAS DEL MERCADO LABORAL [en línea]. Disponible a través de internet <https://www.michaelpage.es/sites/michaelpage.es/files/Pg_ER_IT.pdf>
30. VIVE (2019) VIVETM | Buy VIVE Hardware [en línea]. Disponible a través de internet < <https://www.vive.com/eu/product/>>
31. VIVE (2019) VIVE | Controller [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.vive.com/eu/accessory/controller/>>
32. VIVE (2019) VIVETM | Vive Tracker [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.vive.com/eu/vive-tracker/>>
33. (2018) ¿Cuánto consume realmente nuestro ordenador? [en línea]. Disponible a través de internet <<https://hardzone.es/cuanto-consume-realmente-nuestro-ordenador/>>
34. Tarifaluzhora (2019) Consulta el precio de la luz hoy: Detalles y Evolución de la tarifa PVPC | Tarifaluzhora [en línea]. Disponible a través de internet <<https://tarifaluzhora.es/>>
35. TMB (2019) Precio tarjeta T-Jove metro bus Barcelona | Transports Metropolitans de Barcelona [en línea]. Disponible a través de internet <<https://www.tmb.cat/es/tarifas-metro-bus-barcelona/sencillos-e-integrados/t-jove>>